



UNIVERSIDAD DE CUENCA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS

CARRERA DE BIOQUÍMICA Y FARMACIA

**“EVALUACIÓN DE LOS BIOFILTROS DE ARENA MEDIANTE EL ANÁLISIS
DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES DE LA PARROQUIA EL
PROGRESO, CANTÓN NABÓN”**

**Tesis previa a la obtención del título de
Bioquímico Farmacéutico**

Autoras:

Diana Carolina Morales Jadán

María Paz Moscoso Romo

Directora:

Dra. Mariana Elizabeth Saá Cruz

CUENCA – ECUADOR

2015



RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar los filtros de bioarena mediante el análisis de la calidad del agua en comunidades de la parroquia El Progreso, cantón Nabón, con la finalidad de realizar un estudio comparativo y estadístico entre los porcentajes de incremento de parámetros físico – químicos y de remoción de microbiológicos; además del cumplimiento de los requisitos establecidos en la NTE INEN 1108:2014.

Este estudio tiene un diseño no experimental, descriptivo, prospectivo de corte longitudinal.

Se evaluaron 17 filtros de bioarena instalados y en funcionamiento en Rambrán, Campanacucho, Gañarín y Yaritzagua; analizándose un total de 102 muestras, 34 por semana durante tres semanas del mes de marzo de 2015.

Para el análisis de la calidad del agua, se manejaron parámetros físico – químicos (pH, sólidos totales disueltos, conductividad, turbiedad, color, dureza total, cálcica y magnésica, alcalinidad total y compuesta) y microbiológicos (coliformes totales y fecales) en las muestras de agua de entrada y salida.

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente mediante los programas Microsoft Excel 2013 y SPSS v.18.0 para Windows.

Los resultados demostraron que en época templada y lluviosa respectivamente, el porcentaje de incremento de parámetros físico – químicos fue de 25,09% y 36,96% para color, 43,11% y 58,15% para turbiedad y 36,02% y 54,66% para alcalinidad total, siendo parámetros de consideración, pues no cumplen con la normativa. Por el contrario, para parámetros microbiológicos, se observó que el porcentaje de remoción fue de 86,58% y 65,79% para coliformes totales y 90,07% y 82,35% para coliformes fecales; sin embargo, tampoco se cumple con la normativa de referencia.

Palabras claves: Filtros de bioarena, Capa biológica, Calidad del agua, Filtración lenta, Porcentaje de remoción.



ABSTRACT

The objective of this study was to assess the biosand filters by analyzing water quality in communities in the parish El Progreso, Nabon canton, in order to conduct a comparative statistical study between the percentages of increase of physical - chemical parameters and microbiological removal, in addition to meeting the requirements of NTE INEN 1108:2014.

This study is a non-experimental, descriptive, prospective longitudinal design court longitudinal design court prospective.

Seventeen biosand filters installed and running on Rambran, Campanacucho, Yaritzagua and Ganarin were evaluate; analyzing 102 samples, 34 per week for three weeks in March 2015.

To analyze water quality, physical-chemical parameters were handled (pH, total dissolved solids, conductivity, turbidity, color, total calcium and magnesium hardness, total and composite alkalinity) and microbiological (total and fecal coliforms) in water samples in the input and the output.

The obtained data was statistically analyzed using Microsoft Excel 2013 and SPSS v.18.0 for Windows programs.

The results showed that in warm and rainy seasons respectively, the percentage of increase of physical - chemical parameters was 25,09% and 36,96% for color, 43,11% and 58,15% for turbidity, 36,02% and 54,66% for total alkalinity, being parameters of consideration, because they do not comply with the regulations. On the contrary, for microbiological parameters, it was observe that the removal percentage was 86,58% and 65,79% for total coliforms and 90,07% and 82,35% for fecal coliforms; however, it does not comply the normative of reference either.

Keywords: Biosand filters, Biological layer, Water quality, Slow filtration, Removal percentage.



ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	9
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	11
ÍNDICE DE ANEXOS	13
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS	14
DEDICATORIA.....	19
DEDICATORIA.....	20
AGRADECIMIENTOS	21
INTRODUCCIÓN	22
CAPÍTULO 1	23
1. MARCO TEÓRICO.....	23
1.1. Filtración lenta.....	23
1.2. Filtros de bioarena	23
1.2.1. Componentes del FBA.	23
1.2.2. Funcionamiento.	27
1.2.3. Proceso de filtración.	27
1.2.4. Establecimiento de la capa biológica.....	28
1.2.5. Fuentes de agua.....	29
1.2.6. Mecanismos de remoción.....	30
1.2.7. Funcionalidad.	30
1.2.7.1. Índice de carga del filtro.....	31
1.2.7.2. Periodo de pausa o descanso.....	31
1.2.7.3. Capa de agua estancada.....	31
1.3. Calidad del agua	32
1.3.1. Parámetros físicos de calidad del agua.....	32
1.3.1.1. Temperatura.	32
1.3.1.2. Conductividad.	33
1.3.1.3. Sólidos totales disueltos (STD).	33
1.3.1.4. Turbiedad.....	34



1.3.1.5. Color.	34
1.3.2. Parámetros químicos de calidad del agua.....	35
1.3.2.1. pH.	35
1.3.2.2. Dureza.	36
1.3.2.3. Alcalinidad.....	37
1.3.3. Parámetros microbiológicos de calidad de agua.	38
1.3.3.1. Coliformes totales.	38
1.3.3.2. Coliformes fecales.	39
CAPÍTULO 2	40
2. MATERIALES Y MÉTODOS	40
2.3. Tipo de estudio, diseño de la investigación y análisis estadístico	40
2.3.2. Tipo de investigación.....	40
2.3.3. Planteamiento del diseño.	40
2.3.4. Análisis estadístico	40
2.3.4.1. Porcentaje de incremento	40
2.3.4.2. Porcentaje de remoción	40
2.3.4.3. Medidas de centralización.....	41
2.3.4.4. Medidas de dispersión.	41
2.3.4.5. Medidas de distribución.	41
2.4. Población de estudio.....	42
2.3. Muestreo	42
2.4. Toma de muestras	44
2.4.1. Agua de entrada al domicilio proveniente de las vertientes o acequias (agua entubada).....	44
2.4.2. Agua proveniente de pozos domiciliarios	44
2.4.3. Agua de salida de los filtros de bioarena	44
2.5. Materiales	45
2.5.1. Materiales de campo.	45
2.5.2. Materiales de laboratorio.	45
2.5.3. Equipos.	46
2.5.4. Reactivos.....	46
2.6. Análisis físico – químico del agua	46
2.6.1. Análisis físico.....	46



2.6.1.1.	Determinación de conductividad y sólidos totales disueltos ..	46
2.6.1.2.	Determinación de turbidez: Método Nefelométrico	47
2.6.1.3.	Determinación de color: Método de comparación visual.....	48
2.6.2.	Análisis químico.....	48
2.6.2.1.	Determinación de pH: Método electrométrico.....	48
2.6.2.2.	Determinación de dureza total: Método titulométrico con EDTA.....	49
2.6.2.3.	Determinación de dureza cálcica: Método titulométrico con EDTA.....	50
2.6.2.4.	Determinación de alcalinidad: Método de titulación.....	51
2.7.	Análisis microbiológico.....	53
2.7.1.	Técnica de filtración por membrana.....	53
2.7.2.	Caldo de cultivo m-ColiBlue24®.....	55
2.8.	Flujograma de análisis	56
2.8.1.	Flujograma de análisis de parámetros físicos de calidad de agua.....	56
2.8.2.	Flujograma de análisis de parámetros químicos de calidad de agua.....	57
2.8.3.	Flujograma de análisis de parámetros microbiológicos de calidad de agua.....	58
CAPÍTULO 3	59
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	59
3.1. Análisis de los niveles permisibles tolerables de acuerdo a la NTE INEN 1108:2014.....		59
3.1.1. Resultados del porcentaje de parámetros físico – químicos en relación al límite máximo y mínimo permisible.....		59
3.1.1.1. Análisis de parámetros físico – químicos.....		60
3.1.2. Resultados del porcentaje de parámetros microbiológicos en relación al límite máximo permisible.....		65
3.1.2.1. Análisis de los parámetros microbiológicos.....		66
3.2. Análisis comparativo entre los filtros de bioarena de las comunidades de Rambrán, Campanacucho, Gañarín y Yaritzagua.....		67
3.2.1. Parámetros físico – químicos.....		68
3.2.2. Parámetros microbiológicos.....		83



3.3.	Análisis estadístico de parámetros físico – químicos y microbiológicos entre las comunidades de Rambrán, Campanacucho, Gañarín y Yaritzagua ..	88
3.3.1.	Resultados del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros físico – químicos.....	88
3.3.2.	Resultados del análisis estadísticos de los parámetros microbiológicos.....	92
CONCLUSIONES		94
RECOMENDACIONES		96
BIBLIOGRAFÍA		98
ANEXOS		102



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Partes de un filtro de bioarena	25
Figura 2. Zonas de un filtro de bioarena	26
Figura 3. Establecimiento de la capa biológica o biocapa.....	29
Figura 4. Conductímetro, marca HACH, modelo Sension 5.....	47
Figura 5. Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100 P.....	47
Figura 6. Colorímetro Aqua Tester, marca ORBECO HELLIGE, modelo 611..	48
Figura 7. Potenciómetro, marca HACH, modelo Sension 1	49
Figura 8. Método titulométrico con EDTA: Dureza total	50
Figura 9. Método titulométrico con EDTA: Dureza cálcica	51
Figura 10. Método de titulación: Alcalinidad compuesta	52
Figura 11. Método de titulación: Alcalinidad total	53
Figura 12. Sistema aséptico STERIFIL 500, incluye bomba manual para vacío	54
Figura 13. Caldo m-ColiBlue24®, cajas Petri en poliestireno y membranas de esteres de celulosa de 0,45 micras de poro de Millipore	55
Figura 14. Comunidad Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón.....	112
Figura 15. Comunidad Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón	112
Figura 16. Comunidad Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón.....	113
Figura 17. Comunidad Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón	113
Figura 18. Crecimiento de coliformes totales y fecales en Caldo m-ColiBlue24® Izquierda: Agua de entrada. Derecha: Agua de salida.....	124



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma del muestreo para el análisis.....	43
Tabla 2. Resultados del porcentaje de muestras que no cumplen con los niveles permisibles de parámetros físico – químicos	59
Tabla 3. Resultados del porcentaje de muestras que no cumplen con el nivel permisible de parámetros microbiológicos	66
Tabla 4. Resultados del porcentaje de incremento de pH en las comunidades	68
Tabla 5. Resultados del porcentaje de incremento de STD en las comunidades	70
Tabla 6. Resultados del porcentaje de incremento de conductividad en las comunidades.....	72
Tabla 7. Resultados del porcentaje de incremento de turbiedad en las comunidades.....	74
Tabla 8. Resultados del porcentaje de incremento de color en las comunidades	76
Tabla 9. Resultados del porcentaje de incremento de dureza total, cálcica y magnésica en las comunidades	78
Tabla 10. Resultados del porcentaje de incremento de alcalinidad total y compuesta en las comunidades.....	81
Tabla 11. Resultados del porcentaje de remoción de coliformes totales en las comunidades.....	84
Tabla 12. Resultados del porcentaje de remoción de coliformes fecales en las comunidades.....	85
Tabla 13. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros físicos en clima templado.....	89
Tabla 14. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros físicos en clima lluvioso.....	89
Tabla 15. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros químicos en clima templado.....	90
Tabla 16. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros químicos en clima lluvioso.	91
Tabla 17. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de remoción de parámetros microbiológicos en clima templado.	92
Tabla 18. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de remoción de parámetros microbiológicos en clima lluvioso.	92



Tabla 19. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón.....	114
Tabla 20. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad de Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón.....	117
Tabla 21. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad de Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón.....	119
Tabla 22. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad de Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón.....	120
Tabla 23. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón	125
Tabla 24. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón.....	129
Tabla 25. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón	131
Tabla 26. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón	132
Tabla 27. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón.....	133
Tabla 28. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón	135
Tabla 29. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón.....	136
Tabla 30. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón	137



ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Dispersión lineal de pH.....	60
Gráfica 2. Dispersión lineal de sólidos totales disueltos.....	61
Gráfica 3. Dispersión lineal de conductividad.....	61
Gráfica 4. Dispersión lineal de turbiedad	62
Gráfica 5. Dispersión lineal de color.....	62
Gráfica 6. Dispersión lineal de dureza total.....	63
Gráfica 7. Dispersión lineal de dureza cálcica.....	64
Gráfica 8. Dispersión lineal de dureza magnésica	64
Gráfica 9. Dispersión lineal de alcalinidad total y compuesta	65
Gráfica 10. Dispersión lineal de coliformes totales.....	66
Gráfica 11. Dispersión lineal de coliformes fecales.....	67
Gráfica 12. Comparación de pH entre los FBA, Rambrán	68
Gráfica 13. Comparación de pH entre los FBA, Campanacucho	69
Gráfica 14. Comparación de pH entre los FBA, Gañarín	69
Gráfica 15. Comparación de pH entre los FBA, Yaritzagua	69
Gráfica 16. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Rambrán	70
Gráfica 17. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Campanacucho.....	71
Gráfica 18. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Gañarín	71
Gráfica 19. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Yaritzagua	71
Gráfica 20. Comparación de conductividad entre los FBA, Rambrán	72
Gráfica 21. Comparación de conductividad entre los FBA, Campanacucho....	73
Gráfica 22. Comparación de conductividad entre los FBA, Gañarín	73
Gráfica 23. Comparación de conductividad entre los FBA, Yaritzagua.....	73
Gráfica 24. Comparación de turbiedad entre los FBA, Rambrán	74
Gráfica 25. Comparación de turbiedad entre los FBA, Campanacucho.....	75
Gráfica 26. Comparación de turbiedad entre los FBA, Gañarín	75
Gráfica 27. Comparación de turbiedad entre los FBA, Yaritzagua.....	75
Gráfica 28. Comparación de color entre los FBA, Rambrán	77



Gráfica 29. Comparación de color entre los FBA, Campanacucho	77
Gráfica 30. Comparación de color entre los FBA, Gañarín	77
Gráfica 31. Comparación de color entre los FBA, Yaritzagua	78
Gráfica 32. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Rambrán	79
Gráfica 33. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Campanacucho	79
Gráfica 34. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Gañarín	79
Gráfica 35. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Yaritzagua	80
Gráfica 36. Comparación de alcalinidad total entre los FBA, Rambrán	81
Gráfica 37. Comparación de alcalinidad total entre los FBA, Campanacucho .	81
Gráfica 38. Comparación de alcalinidad total entre los FBA, Gañarín	82
Gráfica 39. Comparación de alcalinidad total y compuesta entre los FBA, Yaritzagua	82
Gráfica 40. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Rambrán	84
Gráfica 41. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Campanacucho	84
Gráfica 42. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Gañarín	85
Gráfica 43. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Yaritzagua	85
Gráfica 44. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Rambrán	86
Gráfica 45. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Campanacucho	86
Gráfica 46. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Gañarín	86
Gráfica 47. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Yaritzagua	87



ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2014.....	102
Anexo B: Certificados de realización de la parte práctica	110
Anexo C: Comunidades de la parroquia El Progreso, Nabón.	112
Anexo D: Fuentes de agua y filtros de bioarena	114
Anexo E: Preparación de reactivos	121
Anexo F: Ficha técnica del Caldo m-ColiBlue24®.....	123
Anexo G: Crecimiento de coliformes totales y fecales en Caldo m-ColiBlue24®	124
Anexo H: Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena .	125
Anexo I: Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena.....	133



ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

%	Porcentaje
°C	Grados Celsius
μS	Microsiemens
CAWST	Centro de Tecnologías Accesibles de Agua y Saneamiento
cm	centímetros
CU	Coeficiente de uniformidad
EDTA	Ácido etilendiaminotetraacético
EPA	Agencia de Protección Ambiental
FBA	Filtros de bioarena
GAMD	Gobierno Autónomo Municipal Descentralizado
h	horas
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
kPa	Kilopascal
L	Litro
lb	Libra
m	metro
mg	miligramo
mL	mililitro
mm	milímetro
mmol	milimol
ms	milisiemens
NTE	Norma Técnica Ecuatoriana
NTU	Unidades Nefelométricas de Turbiedad
OMS	Organización Mundial de la Salud
SPSS	Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales
STD	Sólidos totales disueltos
TE	Tamaño efectivo
UFC	Unidades formadoras de colonias
UPC	Unidades de color Platino – Cobalto



Diana Carolina Morales Jadán, autora de la tesis “EVALUACIÓN DE LOS BIOFILTROS DE ARENA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES DE LA PARROQUIA EL PROGRESO, CANTÓN NABÓN”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Bioquímica Farmacéutica. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 28 de mayo de 2015

Diana Carolina Morales Jadán
C.I. 0106568777



María Paz Moscoso Romo, autora de la tesis "EVALUACIÓN DE LOS BIOFILTROS DE ARENA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES DE LA PARROQUIA EL PROGRESO, CANTÓN NABÓN", reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de Bioquímica Farmacéutica. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Cuenca, 28 de mayo de 2015

María Paz Moscoso Romo

C.I. 0301804043



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca
Cláusula de Propiedad Intelectual

Diana Carolina Morales Jadán, autora de la tesis “EVALUACIÓN DE LOS BIOFILTROS DE ARENA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES DE LA PARROQUIA EL PROGRESO, CANTÓN NABÓN”, certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 28 de mayo de 2015

Diana Carolina Morales Jadán
C.I. 0106568777



UNIVERSIDAD DE CUENCA



Universidad de Cuenca

Cláusula de Propiedad Intelectual

María Paz Moscoso Romo, autora de la tesis "EVALUACIÓN DE LOS BIOFILTROS DE ARENA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES DE LA PARROQUIA EL PROGRESO, CANTÓN NABÓN", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Cuenca, 28 de mayo de 2015

María Paz Moscoso Romo

C.I. 0301804043



DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y luz en todos los momentos de mi vida.

A mis padres, Luis y María, que confiaron en mí, me apoyaron y sobretodo fueron la fuerza para que nunca me rindiera.

A mis hermanos, Diego, Tania, Eduardo y Jimmy por estar ahí cuando los necesité, ser mi compañía y llenarme de alegría en todos los momentos difíciles.

A mis queridas amigas, por compartir momentos inolvidables y formar parte de hermosos recuerdos.

Diana Carolina



DEDICATORIA

A Dios, por darme la esperanza para lograr mis objetivos.

A mis abuelitos, Cornelio y Violeta; Raúl y Aida, por sus palabras de aliento y sabios consejos.

A mis padres, Freddy y Deisi, por su apoyo incondicional, por ser mi fortaleza y ejemplo de lucha y dedicación.

A mis hermanos, Freddy Andrés y Juan Francisco, por creer en mí y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mis amigas con quienes compartí mi formación profesional y todos aquellos momentos inolvidables; y, a una persona especial que tocó mi corazón.

María Paz



AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Mariana Saá, directora de tesis, por su apoyo, motivación constante, ayuda y conocimientos brindados que nos permitieron alcanzar esta meta profesional.

A la Ing. Alexandra Guanuchi, por su colaboración y por permitirnos formar parte del proyecto de Vinculación que mantiene la Universidad de Cuenca con el GADM de Nabón y el Club Rotario Tomebamba.

Al Ing. Damián Peralta, responsable del Laboratorio de Control de Calidad de Agua Potable del GADM de Nabón, por su aporte y colaboración durante el desarrollo del trabajo.

A la Lcda. Magali Quezada, alcaldesa del GADM de Nabón, por abrirnos las puertas para realizar el estudio en tan prestigiosa institución.

A nuestros profesores, a quienes les debemos gran parte de los conocimientos, gracias por su paciencia y enseñanza.

Diana Carolina

María Paz



INTRODUCCIÓN

El agua es el fundamento de la vida, un recurso crucial para la humanidad y el resto de los seres vivos. Con el crecimiento de las poblaciones y el avance tecnológico e industrial, el agua se contamina cada vez más y no se puede consumir tal como se la encuentra en el ambiente.

Varias comunidades de la parroquia El Progreso del cantón Nabón adolecen de un suministro de agua limpia, principalmente debido al costo elevado de implementación de sistemas convencionales de tratamiento y a inconvenientes en la accesibilidad, pues se tratan de zonas alejadas de la ciudad, con casas muy dispersas y localizadas en zonas geográficas peligrosas. La no disponibilidad de agua apta para el consumo, planteó la necesidad de interesarse por proyectos innovadores en este campo, razón por la cual en el 2013 se realizó un convenio entre la Universidad de Cuenca, el Club Rotario Tomebamba y el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Nabón para instalar 80 filtros de bioarena.

Actualmente están instalados y ya en funcionamiento alrededor de 30 filtros de bioarena en las comunidades de Yaritzagua, Rambrán, Ucumari, Sauceloma, Gañarín, Campanacucho y Quillosa. Los biofiltros tienen como fin reducir de manera significativa los contaminantes microbiológicos (> 97% de la bacteria *E. coli* – un indicador de contaminación fecal) y retener los físicos y químicos, hasta llevar al agua cruda a límites aceptables estipulados por la norma INEN 1108 vigente en el país. (1)

Por lo expuesto, el presente estudio contribuirá a la obtención de datos actualizados sobre la calidad del agua que procede de los filtros de bioarena, mediante la determinación de parámetros físico – químicos y microbiológicos, que constituyen indicadores para evaluar la eficiencia de los filtros, comparando los resultados de las muestras de agua analizadas, tanto de entrada como de salida. La determinación de estos parámetros será un aporte para la identificación de posibles inconvenientes con los filtros de bioarena, de tal manera que los responsables del proyecto y las comunidades de Yaritzagua, Rambrán, Gañarín y Campanacucho puedan tomar medidas correctivas que garanticen la eficiencia de los mismos.



CAPÍTULO 1

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Filtración lenta

La filtración lenta o biofiltración, es un sistema de tratamiento de agua alternativo y el más antiguo del mundo, cuyo objetivo es la separación de partículas y microorganismos objetables en el agua.

La biofiltración puede efectuarse en medios porosos o en medios granulares como la arena o la antracita. Este sistema tiene la particularidad de que purifica el agua en una sola operación, mediante el desarrollo de procesos físicos y bioquímicos que permiten, con la aplicación de bajas tasas de filtración, la formación de una capa biológica sobre la superficie del lecho, que retiene las partículas suspendidas y microorganismos patógenos, removiendo así el material no deseable para darle al agua las características de potable. (2) (3)

1.2. Filtros de bioarena

El filtro de bioarena (FBA) es una adaptación del filtro de arena lento tradicional que permite construirlo a pequeña escala y puede ser operado de manera intermitente. Estas modificaciones hacen que el filtro sea una buena opción para uso a nivel domiciliario o de pequeños grupos.

Este filtro consiste en un tanque o caja que contiene una capa sobrenadante del agua que se va a desinfectar, un lecho filtrante de arena fina, una capa de grava que soporta la arena y un tubo de salida para recoger el agua filtrada. (1) (3)

1.2.1. Componentes del FBA.



El filtro de bioarena consta de partes y zonas bien delimitadas, cada una de las cuales ejerce su acción con la finalidad de obtener una agua de mejor calidad.

Las partes de las que consta un filtro de bioarena son:

- *Tapa.* Es una estructura firme, usualmente de madera o metal galvanizado que impide la entrada de insectos y evita la caída de otras sustancias dentro del FBA.
- *Difusor o placa difusora.* Requerido para no perturbar la superficie de la arena cuando se vierte el agua y para permitir el paso de la misma a manera de goteo dentro del FBA. Puede ser construida de varios metales que pueden ser sumergidos en aguas tales como plástico duro, acrílico, plexiglás o metal galvanizado. El difusor consta de 100 agujeros, no mayores a 1/8", perforados siguiendo un cuadrillado de 2,5 cm x 2,5 cm (1" x 1").
- *Arena de filtración.* La arena dentro del filtro es la parte más importante, pues elimina casi todos los agentes patógenos y la suciedad del agua. Es obtenida desde piedra triturada y tamizada a través de malla metálica de 0,7 mm (calibre 24). Ésta debe ser lavada para asegurar un tamaño efectivo (TE) de entre 0,10 y 0,25 mm (de preferencia entre 0,15 y 0,20 mm), y un coeficiente de uniformidad (CU) de entre 1,5 y 2,5 (de preferencia menor a 2). La profundidad de la arena es de 40 – 50 cm.
- *Tubo de salida.* Tubo fabricado de plástico blando o cobre, con un diámetro interno de 6 mm (1/4") que conduce el agua de la base para fuera.
- *Cuerpo del filtro.* El contenedor puede estar hecho de concreto o plástico, pudiendo ser cuadrado o redondo. En él está la arena, la gravilla, la grava y el agua. Su peso en vacío es de 72 kg (170 lb) y cuando está lleno es de 160 kg (350 lb).

- *Grava de separación.* Grava pequeña que sostiene la arena de filtración y evita que vaya hacia la grava de drenaje y el tubo de salida. Su tamaño es de 6 mm (1/4") y con una profundidad de 5 cm.
- *Grava de drenaje.* Grava gruesa que sostiene la grava de separación y ayuda a que el agua fluya hacia el tubo de salida. Su tamaño es de 12 mm (1/2") y con una profundidad igual de 5 cm. Su tamaño demasiado grande impide que pase hacia el tubo de salida. (1) (4) (5)

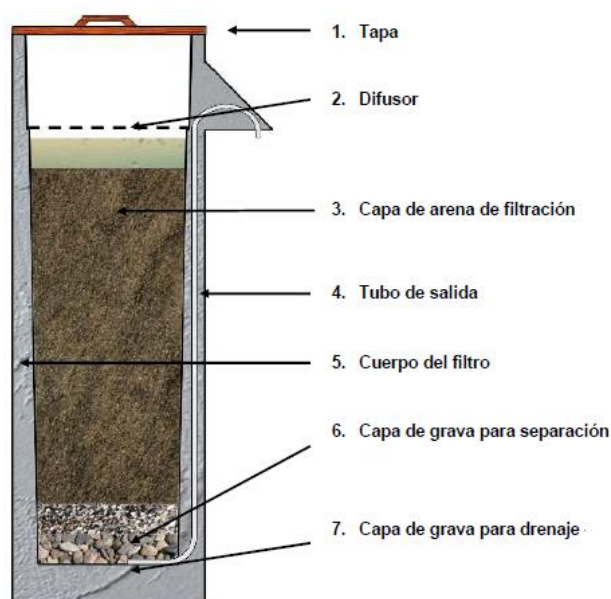


Figura 1. Partes de un filtro de bioarena.

(Fuente: Manual del Filtro Bioarena, CAWST, 2009)

Las zonas de las que consta un filtro de bioarena son:

- *Reservorio.* Es la parte de arriba del filtro, donde el agua es vertida. En este puede caber aproximadamente 12 litros de agua.
- *Agua estancada o sobrenadante.* Agua presente encima de la arena que debe permanecer en el FBA cuando la misma deja de fluir, ésta debe ser de 5 cm de manera que la biocapa se mantenga húmeda. El aire puede

difundirse a través de los 5 cm de agua, pero si hay más de 5 cm, el aire no puede pasar y la biocapa se estropea.

- *Biocapa o capa biológica.* La biocapa es una capa desarrollada en los primeros centímetros de la arena donde viven pequeños microorganismos, generalmente en los 2 a 3 cm (0,8 - 1,2") de la superficie de la arena. Es la responsable de la captación y/o eliminación del material orgánico e inorgánico.
- *Capa no biológica.* Virtualmente no contiene microorganismos vivos, debido a la falta de oxígeno y nutrientes.
- *Zona de grava.* Mantiene la arena en su lugar y evita que el tubo de salida se tapone. (1) (4) (5)

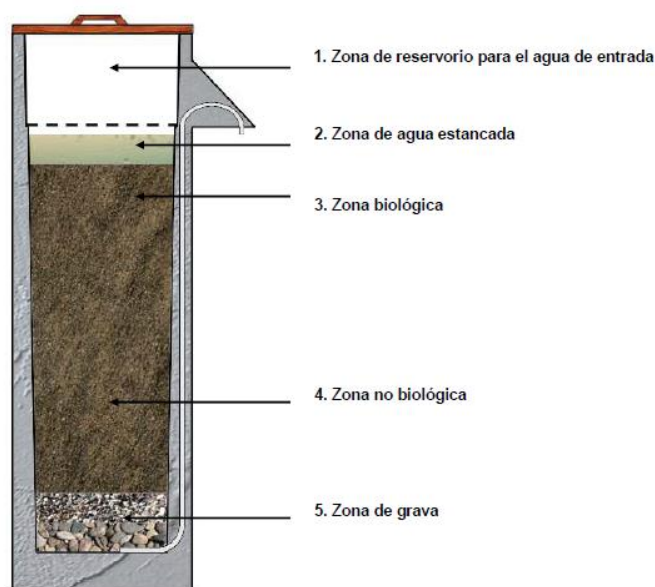


Figura 2. Zonas de un filtro de bioarena.

(Fuente: Manual del Filtro Bioarena, CAWST, 2009)



1.2.2. Funcionamiento.

Se vierte un balde de agua al filtro de bioarena cuando sea necesario. El agua atraviesa el filtro y se recoge en otro envase de almacenamiento colocado por debajo de la salida. Una capa biológica o biocapa de limo, sedimentos y microorganismos, se desarrolla en la superficie de la arena.

Los patógenos y materiales suspendidos son removidos mediante varios procesos físicos y biológicos que suceden en la biocapa y en la arena.

Cuando el agua está fluyendo por el filtro, la biocapa se nutre de oxígeno a través del oxígeno disuelto en el agua. Durante períodos de pausa, cuando no fluye el agua, el oxígeno se obtiene por la difusión del aire. Si esta capa de agua se mantiene poca profunda, puede penetrarse suficiente oxígeno para llegar a los microorganismos y mantenerlos vivos y eficaces. (1) (2)

1.2.3. Proceso de filtración.

Los procesos que se desarrollan en un filtro de bioarena se complementan entre sí, actuando en forma simultánea, para mejorar las características físicas, químicas y bacteriológicas del agua tratada. El proceso de filtración se desarrolla en tres etapas:

- ***Etapas iniciales***

El funcionamiento del filtro de bioarena inicia con el ingreso del agua cruda al reservorio, la cual contiene oxígeno disuelto, elementos nutritivos y contaminantes. El nivel alto de agua empuja la misma a través del filtro. Después de pasar por la placa difusora, el agua entrante se mezcla con el agua sobrenadante, la cual tiene menor contenido de oxígeno, nutrientes y patógenos que el agua entrante porque estos fueron consumidos durante el periodo de pausa. El agua entrante provee el oxígeno requerido por los microorganismos en la biocapa. Los sedimentos y patógenos más grandes son retenidos en la superficie de la arena.



- ***Etapas media***

El nivel de agua en el reservorio disminuye en la medida que el agua fluye uniformemente a través de la arena. La velocidad del flujo va disminuyendo con el tiempo, ya que hay menos presión que fuerza al agua a que vaya a través del filtro. El sedimento y los patógenos más grandes retenidos en la etapa anterior, bloquean parcialmente los espacios porosos que existen entre los granos de arena. Esto también hace que la velocidad de flujo disminuya.

- ***Etapas final***

El flujo finalmente para. El nivel del agua sobrenadante está al mismo nivel que el tubo de salida. Los patógenos en el agua entrante son consumidos, y los de la etapa inicial que eran parcialmente consumidos ahora son completamente descompuestos.

La remoción de patógenos aumenta con el tiempo por la reducción en el flujo y el tamaño reducido de los poros. Un poco de oxígeno del aire pasa por el agua sobrenadante hasta la capa biológica. (1) (5)

1.2.4. Establecimiento de la capa biológica.

La capa biológica es el componente clave del filtro de bioarena en la eliminación de los patógenos; sin este, el filtro remueve una parte de la contaminación por la retención de sedimento y microorganismos (solamente 30 – 70% de eficiencia en eliminación). La capa biológica ideal removerá un 90 – 99% de los patógenos. (5)

La capa biológica consiste en una biopelícula conocida como *schmutzdecke* (término alemán que significa “capa sucia”) que se desarrolla naturalmente dentro de unos días después de comenzar el uso del filtro y continúa madurando a lo largo de un periodo de varias semanas. Esta capa está constituida principalmente por plancton, diatomeas, protozoarios, rotíferas, bacteriófagos y bacterias. La acción intensiva de estos microorganismos

atrapa, digiere y degrada la materia orgánica y bacterias patógenas contenidas en el agua; al mismo tiempo que oxida los compuestos nitrogenados. (3) (6)

El desarrollo de estos microorganismos responsables de la acción biológica se concreta casi exclusivamente a la superficie de la capa de arena, y alcanza, como máximo una profundidad de 2 a 3 cm formándose una película biológica.

La cantidad de tiempo para lograr la denominada maduración del filtro depende principalmente de la temperatura del ambiente y las características de la fuente de agua; se ha establecido que la biocapa puede demorar hasta 30 días en formarse completamente. Durante este tiempo, la eficiencia de remoción y la demanda de oxígeno aumentarán con el crecimiento de la capa biológica. En el proceso de filtración biológica, no solo se eliminan los organismos nocivos o peligrosos, sino también los nutrientes en solución, los cuales podrían facilitar el subsiguiente crecimiento biológico. (5) (7)

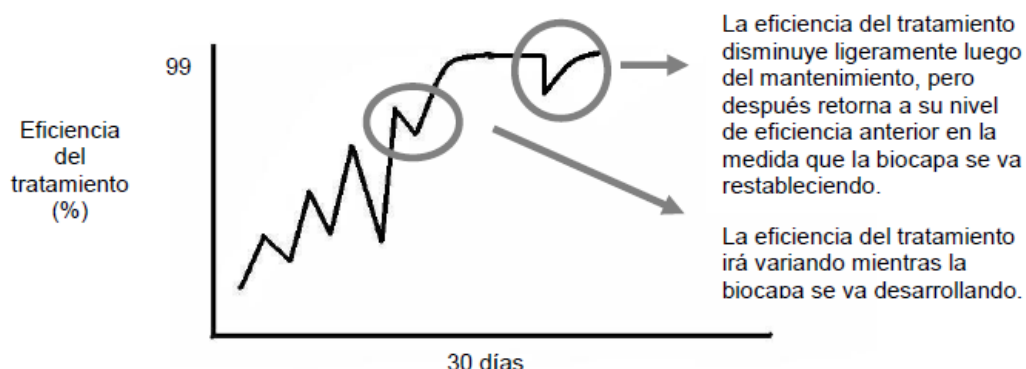


Figura 3. Establecimiento de la capa biológica o biocapa.

(Fuente: Manual del Filtro Bioarena, CAWST, 2009)

1.2.5. Fuentes de agua.

El filtro de bioarena puede utilizar cualquier fuente de agua, como de lluvia, pozo profundo, pozo escavado, ríos, lagos y otras aguas superficiales. La fuente utilizada debe de ser la más limpia posible porque el filtro solamente elimina un porcentaje de los patógenos. Si la fuente de agua está contaminada, el agua filtrada puede contener algunos contaminantes.



La misma fuente de agua debe ser constantemente utilizada, porque la capa biológica no puede adaptarse rápidamente a aguas de calidades cambiantes. Al pasar el tiempo, los microorganismos en la capa biológica se acostumbran a tener una cantidad específica de contaminación en el agua entrante. Si se utiliza una fuente de agua diferente con un nivel de contaminación más alto, puede ser que la capa biológica no pueda consumir todos los patógenos, y podría demorar algunos días para que la se adapte a la nueva fuente de agua y al nuevo nivel de contaminación. (1) (5)

1.2.6. Mecanismos de remoción.

Los patógenos y los sólidos suspendidos presentes en el agua cruda se extraen a través de la combinación de procesos biológicos, químicos y mecánicos que se dan lugar en la biocapa y dentro de la capa de arena.

Estos procesos incluyen: entrapamiento mecánico, depredación, adsorción y muerte natural.

- *Entrampamiento mecánico.* Los sólidos suspendidos y los patógenos quedan físicamente atrapados en los espacios existentes entre los granos de arena.
 - *Depredación.* Los patógenos son consumidos por otros microorganismos que se encuentran en la biocapa.
 - *Adsorción.* Los patógenos se adhieren entre ellos, a los sólidos suspendidos que se encuentran en el agua y a los granos de arena.
 - *Muerte natural.* Los patógenos terminan su ciclo de vida o mueren porque no tienen suficiente alimento u oxígeno para su supervivencia.
- (5)

1.2.7. Funcionalidad.



1.2.7.1. *Índice de carga del filtro.*

El filtro de bioarena es diseñado para cierto índice de carga. Para el diseño de concreto, se ha determinado que éste no debe ser mayor a 400 litros/hora/metro cuadrado, probándose de esta manera su efectividad. (5)

1.2.7.2. *Periodo de pausa o descanso.*

El periodo de pausa permite que los microorganismos en la biocapa consuman los nutrientes y patógenos en el agua. El flujo a través del filtro se recupera con su consumo. Si el periodo de pausa se extiende demasiado, la biocapa eventualmente consume todos los patógenos y nutrientes y muere; esto disminuye la efectividad del filtro en el proceso de eliminación cuando se utiliza otra vez. Un periodo de pausa de 6 a 12 horas es recomendado con un mínimo de 1 hora y un máximo de 48 horas. (5) (8)

1.2.7.3. *Capa de agua estancada.*

La correcta instalación y operación del filtro de bioarena requiere que el agua estancada tenga una profundidad aproximada de 5 cm (2") encima de la arena durante el período de pausa. La profundidad del agua estancada puede ser de 4 a 6 cm, pero lo ideal es que sea de 5 cm.

Una profundidad de agua mayor a la ideal puede causar una menor difusión del oxígeno y en consecuencia una biocapa más delgada. Las causas de un nivel de agua alto pueden ser la consecuencia del bloqueo del tubo de salida, que haya una poca cantidad de arena instalada en el filtro, o que la arena se haya asentado durante las primeras semanas de uso del filtro.

Por el contrario, si se tiene una profundidad menor a la ideal, el agua puede evaporarse rápidamente, haciendo que la biocapa se seque. La causa de un nivel de agua bajo puede ser que se haya colocado demasiada arena en el filtro durante su instalación. (3) (5)



1.3. Calidad del agua

Para que el agua de consumo humano sea apta, no debe contener ningún tipo de microorganismo, parásito o sustancia, en cantidad o concentración que pueda suponer un peligro para la salud humana y cumpla con los valores de parámetros especificados en la NTE INEN 1108:2014 (Anexo A) dentro de los que se tienen:

- *Parámetros físicos.* Dentro de este grupo se incluyen el color, olor, sabor, turbidez, oxidabilidad, etc.
- *Parámetros químicos.* Se relacionan un total de 27 elementos y compuestos químicos, así como el valor de cada uno de ellos o combinaciones de varios.
- *Parámetros microbiológicos.* Todos los microorganismos considerados han de estar ausentes por completo de la muestra. (9)

1.3.1. Parámetros físicos de calidad del agua.

1.3.1.1. *Temperatura.*

Es una de las constantes físicas que tiene gran importancia en el desarrollo de los diversos fenómenos que se realizan en el seno del agua y determina la evolución o tendencia de sus propiedades, ya sean físicas, químicas o biológicas, ya que una variación notable de la misma puede ejercer una acción beneficiosa o dañina. Se produce como consecuencia de la absorción de las radiaciones caloríficas por las capas más superficiales, y depende de la energía cinética media de las moléculas. Cuando crece la energía cinética, crece la temperatura. (10)

Es un parámetro físico que afecta mediciones de otros como pH, alcalinidad o conductividad. El agua potable para ser agradable al usuario debe ser consistentemente fría y no experimentar constantes variaciones de temperatura sino en pocos grados de intervalo. Las aguas subterráneas y aguas superficiales de origen montañoso generalmente cumplen este requisito. La



mayor parte de las personas encuentran que la temperatura del agua de bebida debe fluctuar entre 10 y 15 °C. (11)

1.3.1.2. Conductividad.

Es una medida de la capacidad de una solución acuosa para transportar una corriente eléctrica. Esta capacidad depende de la presencia de iones disueltos, su movilidad, su valencia, sus concentraciones absolutas y relativas, de la temperatura y la viscosidad de la solución. Ayuda a estimar el contenido total de constituyentes iónicos.

La medida se lleva a cabo con un conductímetro y los resultados a 25 °C se expresan en milisiemens por metro (ms/m). En soluciones diluidas existe una buena relación entre el valor de la conductividad en ms/m y los sólidos totales en mg/L. Un factor de 0,054 a 0,09 se utiliza para convertir valores de conductividad en sólidos totales. (12)

La conductividad electrolítica aumenta con la temperatura a un índice de 1,9 por 100/°C aproximadamente. De una medición inexacta de la temperatura pueden derivar errores significativos. (13)

1.3.1.3. Sólidos totales disueltos (STD).

Los sólidos pueden afectar negativamente a la calidad del agua o a su suministro de varias maneras. Las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de inferior palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional.

El tipo de soporte de filtro, el tamaño del poro, la porosidad, el área y el espesor del filtro, así como la naturaleza física y el tamaño de las partículas y la cantidad de material depositado en el filtro son los factores principales que afectan a la separación de los sólidos suspendidos y los disueltos, siendo los STD la porción que atraviesa el filtro. (14)



1.3.1.4. *Turbiedad.*

Es la expresión de la propiedad óptica que hace que los rayos luminosos se dispersen y se absorban, en lugar que se transmitan sin alteración a través de una muestra. Suele ser debida a la presencia de partículas de arcilla, cieno, fibras vegetales o microorganismos. No debe relacionarse la turbiedad con la concentración en peso de los sólidos en suspensión, pues el tamaño, la forma y el índice de refracción de las partículas, son factores que también afectan la dispersión de la luz. (12)

El método nefelométrico se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es esta, más intensa es la turbiedad. (13) (11)

En las aguas naturales, la turbidez suele evolucionar en el mismo sentido al del aporte de aguas escorrentías al medio hídrico, a su vez provocada por la existencia de precipitaciones, especialmente si estas son de carácter torrencial o se producen en terrenos susceptibles de una fácil erosión. Si el medio acuático es suficientemente profundo, los fenómenos de sedimentación natural provocan el descenso del valor de turbidez como un efecto dilatado respecto al término de los periodos de lluvias. (15)

1.3.1.5. *Color.*

Todas las aguas presentan una tonalidad variable, dependiendo de versátiles circunstancias. Esta tonalidad, más o menos acusada, es el color de las aguas, el cual tiene su origen en causas internas o externas. Las primeras son debidas a los materiales disueltos y a los suspendidos en la misma agua, y las segundas, o sea las externas, tienen su origen en la absorción de las radiaciones de mayor longitud de onda.

Las sustancias presentes en las aguas naturales productoras de color son varias, dando cada una de ellas y su conjunto las diversas tonalidades que se



presentan. El color café amarillento o pardo, por ejemplo, es producido por materia orgánica diversa, hojas, turba, etc. (10)

Se distinguen dos aspectos para la definición del color y son:

- *Color real o verdadero.* Es producido por las sustancias en estado coloidal y en solución presentes en el agua (residuos vegetales).
- *Color aparente.* Incluye el color real y el producido por sustancias en suspensión que pueden encontrarse en la muestra (turbiedad). (14)

1.3.2. Parámetros químicos de calidad del agua.

1.3.2.1. pH.

La medida del pH es una de las pruebas más importantes y frecuentes utilizadas en el análisis químico del agua. Prácticamente todas las fases del tratamiento del agua para suministro y residual, como la neutralización ácido – base, suavizado, precipitación, coagulación, desinfección y control de la corrosión, dependen del pH. (13)

El pH se utiliza en las determinaciones de alcalinidad y dióxido de carbono y en muchos otros equilibrios ácido – base. A una temperatura determinada, la intensidad del carácter ácido o básico de una solución viene dada por la actividad del ión hidrógeno y se define como el logaritmo de la inversa de la actividad de los iones hidrógeno. (16)

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$$

Dónde:

$[\text{H}^+] =$ Actividad de los iones hidrógeno en mol/L

El origen del pH en las aguas puede ser natural o artificial. Como causa natural se encuentra, en primer lugar, el anhídrido carbónico disuelto procedente de la atmósfera, y en mayor proporción del que se encuentra en la zona de filtración de la tierra producida por la respiración de los organismos vivos, así como de la



respiración de los organismos acuáticos. Entre los constituyentes básicos se encuentra fundamentalmente el carbonato cálcico, este compuesto condiciona el pH de las aguas a causa de que es capaz de reaccionar con el anhídrido carbónico disuelto para formar el bicarbonato de calcio, soluble, produciendo un sistema tampón. En general, la hidrólisis es uno de los procesos químicos que producen reacción ácida o básica de las aguas. (10)

1.3.2.2. Dureza.

Es una característica que puede ser expresada como dureza total, y es equivalente a la sumatoria de las concentraciones de sales de calcio, magnesio y otros minerales. Al igual puede ser expresada como las concentraciones de carbonato de calcio (CaCO_3), para lo cual la OMS clasifica a las aguas en cuatro categorías: blandas (0 a 60 mg/L de CaCO_3), moderadamente duras (61 a 120 mg/L), duras (121 a 180 mg/L) y muy duras (> 180 mg/L). Dependiendo del pH y la alcalinidad, la dureza del agua puede producir depósitos o incrustaciones en las tuberías, afectando su estado físico. (17)

Las aguas muy cargadas de sales están poco valoradas para el uso doméstico, pues a largo plazo su utilización puede ser perjudicial, por ir reduciendo el diámetro de las tuberías cuando se depositan en el interior, llegando a disminuir drásticamente la presión y caudal disponible. Con estas aguas, denominadas habitualmente aguas duras, se tendrán problemas cuando se deban calentarlas, pues en esas circunstancias de alta temperatura tienden a cristalizar sobre la resistencia calefactora. La capa de cal formada evita una correcta transmisión del calor entre las resistencias utilizadas y el agua. Por esta razón es común que se encuentren a disposición elementos filtrantes que, en el mejor de los casos, producirán la eliminación de estas sales o al menos su reducción. (18)

La dureza total del agua viene dada por la suma de dos valores:



- *Dureza temporaria o dureza de carbonatos ($\text{CO}_3^{=}$).* Constituida por carbonato ácido de calcio o magnesio. Cuando se hierve el agua, usualmente es removida; los bicarbonatos se disocian en carbonatos insolubles y precipitan como partículas sólidas, las cuales se adhieren a las superficies calientes o en el interior de las tuberías.
- *Dureza de no carbonatos o permanente.* Esto es debido a que no es removida cuando se hierve el agua, esta es producida en la mayoría de casos por la presencia de sulfatos y cloruros de calcio y magnesio en el agua. (14)

1.3.2.3. *Alcalinidad.*

La alcalinidad es la capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables. El valor medido puede variar significativamente con el pH de punto final utilizado. Es la medida de una propiedad agregada del agua, y solamente puede interpretarse en términos de sustancias específicas cuando se conoce la composición química de la muestra.

La alcalinidad es importante en muchos usos y tratamientos de aguas naturales y residuales, ya que en muchas aguas superficiales depende primordialmente de su contenido en carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos, por lo que suele tomarse como una indicación de la concentración de estos componentes. (12)

Tiene importancia para la determinación de la aceptabilidad de un agua de irrigación cuando hay exceso de concentración de metales alcalinotérreos, además puede influir en la coagulación química, con la acción corrosiva y pueden tener sabor desagradable. (14)

Alcalinidad a la fenolftaleína. Es la correspondiente a los iones hidróxidos más la mitad de la concentración de los iones carbonatos.

Alcalinidad total. Es la atribuible a los iones hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos. (16)



1.3.3. Parámetros microbiológicos de calidad de agua.

El agua de superficie recoge muchas sustancias durante su recorrido por tierras agrícolas y áreas industriales. Los terrenos agrícolas aportan nitratos, fosfatos y otros nutrientes, junto con microorganismos del suelo. El material orgánico como hojas, hierba recortada, deyecciones de aves y animales, y residuos de plantas procesadoras de alimentos, todo ello con su población microbiana asociada, también tienen acceso al agua de superficie. (14)

Muchas formas de vida microbiana pueden existir en el agua en tanto se satisfagan las necesidades físicas y nutricionales apropiadas para el crecimiento. Las bacterias aerobias y los protozoarios necesitan oxígeno disuelto para crecer. El número y tipo de microorganismos presentes constituyen un indicio de la calidad del agua. (12)

El agua que se utiliza para beber y bañarse puede servir como vehículo para transmitir patógenos entéricos humanos que causan enfermedades. La detección de agentes patógenos en el agua es difícil, económicamente costosa y poco práctica en los análisis rutinarios. En su lugar, para valorar los agentes patógenos se emplean los denominados organismos indicadores, como lo son coliformes totales y fecales principalmente. (19)

Las principales características de un buen organismo indicador son:

1. Su ausencia implica la inexistencia de patógenos entéricos.
2. La densidad de los organismos indicadores está relacionada con la probabilidad de la presencia de patógenos.
3. En el medio los organismos indicadores sobreviven un poco más que los patógenos.

1.3.3.1. *Coliformes totales.*

De los organismos indicadores, las bacterias coliformes totales son las que se usan con mayor frecuencia. Este grupo incluye, por definición, todas las bacterias aerobias y anaerobias facultativas, gramnegativas, no formadoras de



esporas y con forma de bastón que fermentan lactosa con formación de gases antes de 48 horas a 35 °C. El grupo de coliformes se compone de *Escherichia coli* (*E. coli*), *Enterobacter aerogenes*, *Citrobacter freundii* y bacterias afines. (14)

1.3.3.2. Coliformes fecales.

Dentro de este grupo se considera a *E. coli* exclusivamente, y por ello es el organismo indicador preferido de contaminación fecal. Son bacterias que producen gas en medio EC a 44.5 °C en 24 ± 2 horas. También se utiliza el caldo m-ColiBlue24® de HACH que detecta e identifica simultáneamente tanto coliformes totales como *E. coli*. El periodo de incubación es de 24 horas para obtener una enumeración completa. No hay pasos de confirmación. (20)

Con excepción de algunas cepas de coliformes fecales enteropatógenas que causan diarrea, los coliformes no son patógenos para el hombre. Sin embargo, los coliformes pueden aceptar y transferir genes resistentes a las drogas, por lo cual hacen necesaria su eliminación. (21)



CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.3. Tipo de estudio, diseño de la investigación y análisis estadístico

2.3.2. Tipo de investigación. Investigación descriptiva, prospectiva de corte longitudinal.

2.3.3. Planteamiento del diseño. No experimental.

2.3.4. Análisis estadístico. Para el análisis de los datos obtenidos se empleó la estadística descriptiva, presentando los datos en tablas y gráficas. Se aplicaron medidas de centralización, dispersión y distribución. Los programas empleados fueron Microsoft Excel 2013 y SPSS v.18.0 para Windows.

2.3.4.1. *Porcentaje de incremento.* Determinado para cada parámetro físico – químico analizado de los FBA de cada comunidad, e indica el aumento de cada parámetro entre la muestra analizada de entrada y salida. Este porcentaje de incremento viene dado por la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Incremento} = \frac{C \text{ salida} - C \text{ entrada}}{C \text{ salida}} \times 100$$

Dónde: C representa el valor del parámetro.

2.3.4.2. *Porcentaje de remoción.* Determinado para los parámetros microbiológicos analizados de los FBA de cada comunidad, e indica la disminución de cada parámetro entre la muestra analizada de entrada y salida. Este porcentaje de remoción viene dado por la siguiente fórmula:



$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_{\text{entrada}} - C_{\text{salida}}}{C_{\text{entrada}}} \times 100$$

Dónde: C representa el valor del parámetro.

2.3.4.3. Medidas de centralización. Las medidas consideradas para este análisis fueron el promedio y la mediana.

Para el porcentaje de incremento y remoción de cada parámetro analizado, el *promedio* indica el valor medio estimado de los porcentajes obtenidos. La *mediana* es el valor que se encuentra exactamente en la mitad del conjunto de porcentajes, e indica que porcentajes se encuentran por encima o debajo de esta. Para el cálculo de cada medida de centralización se consideró el clima, sea lluvioso o templado.

2.3.4.4. Medidas de dispersión. Las medidas consideradas para este análisis fueron la desviación estándar, el valor máximo y mínimo y el rango.

La *desviación estándar* indica cuánto pueden alejarse o acercarse los valores del porcentaje de incremento o remoción respecto al promedio. El *máximo* y el *mínimo* corresponden al mayor y menor porcentaje obtenido e indican cuán dispersos están los mismos. El *rango* indica el intervalo entre el valor máximo y el mínimo; y permitió obtener una idea de la dispersión de los porcentajes, cuanto mayor es el rango, más dispersos están los porcentajes del conjunto. Para el cálculo de cada medida de dispersión se consideró el clima, sea lluvioso o templado.

2.3.4.5. Medidas de distribución. Las medidas consideradas para este análisis fueron la curtosis y la simetría.

La *curtosis* permitió conocer el grado de concentración que presentan los porcentajes en la región central de la distribución; esto es, la medida de la mayor o menor concentración de los porcentajes alrededor de la media. La



simetría permitió identificar si los datos se distribuyen de forma uniforme alrededor de la media. Para el cálculo de cada medida de distribución se consideró el clima, sea lluvioso o templado.

2.4. Población de estudio

El estudio se llevó a cabo en las comunidades de Rambrán, Campanacucho, Gañarín y Yaritzagua, de la parroquia El Progreso, cantón Nabón.

El análisis físico – químico y microbiológico del agua de entrada y salida de los filtros de bioarena se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de Agua del GADM de Nabón. (Anexo B)

Las muestras fueron tomadas de las siguientes ubicaciones:

1. Agua entubada (agua de entrada) proveniente de distintas vertientes o acequias de acuerdo a la ubicación del domicilio o de pozos domiciliarios.
2. Agua de salida (filtrada) obtenida a partir de cada filtro de bioarena.

2.3. Muestreo

El análisis se realizó en 17 filtros de bioarena instalados y en funcionamiento, de los cuales, 9, 4, 2 y 2 corresponden a las comunidades de Rambrán, Campanacucho, Gañarín y Yaritzagua respectivamente. (Anexo C)

Se analizó un total de 102 muestras de las comunidades mencionadas, 34 muestras por semana durante la segunda, tercera y cuarta semana del mes de marzo de 2015. La frecuencia del muestreo fue de tres veces por semana. El día lunes se realizó el muestreo en la comunidad de Rambrán, el martes de Campanacucho y Gañarín y el miércoles de Yaritzagua; según la Tabla 1.



Tabla 1. Cronograma del muestreo para el análisis.

			MES DE MARZO DE 2015								
COMUNIDAD	FILTRO	AGUA	SEGUNDA SEMANA			TERCERA SEMANA			CUARTA SEMANA		
			Lunes	Martes	Miércoles	Lunes	Martes	Miércoles	Lunes	Martes	Miércoles
			Número de Muestras								
Rambrán	1	Entrada	1			1			1		
		Salida	1			1			1		
	2	Entrada	1			1			1		
		Salida	1			1			1		
	3	Entrada	1			1			1		
		Salida	1			1			1		
	4	Entrada	1			1			1		
		Salida	1			1			1		
	5	Entrada	1			1			1		
Salida		1			1			1			
Campanacucho	10	Entrada		1			1			1	
		Salida		1			1			1	
	11	Entrada		1			1			1	
		Salida		1			1			1	
	12	Entrada		1			1			1	
		Salida		1			1			1	
	13	Entrada		1			1			1	
		Salida		1			1			1	
	Gañarín	14	Entrada		1			1			1
Salida			1			1			1		
Yaritzagua	16	Entrada			1			1			1
		Salida			1			1			1
	17	Entrada			1			1			1
		Salida			1			1			1
TOTAL DE MUESTRAS			34			34			34		



2.4. Toma de muestras

2.4.1. Agua de entrada al domicilio proveniente de las vertientes o acequias (agua entubada). El agua de ingreso a los domicilios proviene de vertientes o acequias localizadas a una distancia de 200 a 400 metros del domicilio. Alrededor de la mayoría de fuentes de captación de agua, se encuentran zonas de pastoreo y zonas agrícolas. Las muestras fueron tomadas de los puntos de descarga presentes en cada uno de los domicilios y que es utilizada para llenar los filtros de bioarena. Previa a la toma de la muestra, se desinfectaron los puntos de descarga con alcohol para posteriormente dejar fluir el agua durante 5 minutos. Luego se tomó 500 mL de muestra en un frasco estéril de polietileno para el análisis microbiológico y 500 mL de muestra en un frasco de polietileno para el análisis físico – químico. (Anexo D)

Cada muestra fue rotulada con tipo de agua, fecha y hora de recolección, nombre de la comunidad y código de identificación. Las muestras fueron transportadas en la caja térmica.

2.4.2. Agua proveniente de pozos domiciliarios. Las muestras fueron tomadas de los pozos de captación del agua proveniente de una acequia, para lo cual se empleó un cordel atado al frasco. Se tomó 500 mL de muestra en un frasco estéril de polietileno para el análisis microbiológico y 500 mL de muestra en un frasco de polietileno para el análisis físico – químico. (Anexo D)

Cada muestra fue rotulada con tipo de agua, fecha y hora de recolección, nombre de la comunidad y código de identificación. Las muestras fueron transportadas en la caja térmica.

2.4.3. Agua de salida de los filtros de bioarena. Las muestras fueron tomadas del tubo de salida de cada filtro de bioarena, previo llenado de estos en el momento de la toma de muestra con el agua de entrada de cada domicilio. Previa a la toma de la muestra, se desinfectó el tubo de salida con alcohol para posteriormente dejar fluir el agua durante 2 a 3 minutos, tiempo suficiente para que se descarte el agua contenida anteriormente en el filtro. Luego se tomó 500 mL de muestra en un frasco estéril de polietileno para el



análisis microbiológico y 500 mL de muestra en un frasco de polietileno para el análisis físico – químico. (Anexo D)

Cada muestra fue rotulada con tipo de agua, fecha y hora de recolección, nombre de la comunidad y código de identificación. Las muestras fueron transportadas en la caja térmica.

2.5. Materiales

2.5.1. Materiales de campo.

- Caja térmica
- Cuerda
- Esferos
- Etiquetas adhesivas
- Frascos de polietileno de 500 mL
- Frascos de polietileno estériles de 500 mL
- Guantes
- Libreta
- Refrigerantes

2.5.2. Materiales de laboratorio.

- Buretas
- Lámpara de alcohol
- Matraz Erlenmeyer
- Pipetas de 10 mL
- Probetas
- Soporte universal
- Varilla de vidrio
- Vasos de precipitación
- Membranas de esteres de celulosa de Millipore



- Cajas Petri de poliestireno con PADS de Millipore

2.5.3. Equipos.

- Colorímetro Aqua Tester, marca ORBECO HELLIGE, modelo 611
- Conductímetro, marca HACH, modelo Sension 5
- Esterilizador Digital Memmert, modelo 100-800
- Potenciómetro, marca HACH, modelo Sension 1
- Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100 P
- Sistema aséptico STERIFIL® de Millipore
- Bomba manual para vacío

2.5.4. Reactivos. (Anexo E)

- Dureza total
- Dureza cálcica
- Alcalinidad total
- Alcalinidad compuesta
- Caldo m-ColiBlue24® de Millipore (Anexo F)

2.6. Análisis físico – químico del agua

2.6.1. Análisis físico.

2.6.1.1. *Determinación de conductividad y sólidos totales disueltos.*

- **Principio:** Es un equipo con electrodo de platino, cuya célula se presenta en forma de pipeta o de inmersión. La elección de la célula depende de la amplitud esperada de conductividad y de la amplitud de resistencia del instrumento. Permite realizar la conversión de conductividad/STD ajustables al usuario y a una temperatura determinada. (22)



Figura 4. Conductímetro, marca HACH, modelo Sension 5.

(Fuente: Cortesía Laboratorio de Control de Calidad de Agua del GADM de Nabón)

2.6.1.2. *Determinación de turbidez: Método Nefelométrico*

- **Principio:** Este método se basa en la comparación de la intensidad de la luz dispersada por la muestra en condiciones definidas y la dispersada por una solución patrón de referencia en idénticas condiciones. Cuanto mayor es la intensidad de la luz dispersada, más intensa es la turbidez. (13)



Figura 5. Turbidímetro, marca HACH, modelo 2100 P.

(Fuente: Cortesía Laboratorio de Control de Calidad de Agua del GADM de Nabón)

2.6.1.3. *Determinación de color: Método de comparación visual.*

- **Principio:** El color se determina mediante comparación visual de la muestra con concentraciones conocidas de soluciones coloreadas. La comparación también puede realizarse con discos especiales de cristal de color, adecuadamente calibrados. El método patrón de medida de color es el de cobalto – platino, siendo la unidad de color el producido por 1 mg de platino/L en forma de ión cloroplatinato. (23)



Figura 6. Colorímetro Aqua Tester, marca ORBECO HELLIGE, modelo 611.

(Fuente: Cortesía Laboratorio de Control de Calidad de Agua del GADM de Nabón)

2.6.2. Análisis químico.

2.6.2.1. *Determinación de pH: Método electrométrico.*

- **Principio:** Se basa en la medida de la actividad de los iones hidrógeno por mediciones potenciométricas utilizando un electrodo patrón de hidrógeno y otro de referencia. El electrodo de hidrógeno consiste en un electrodo de platino por el que se pasan burbujas de hidrógeno gaseoso a una presión de 101 kPa. (13)

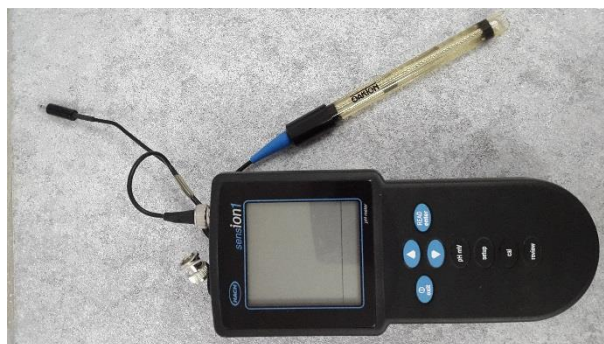


Figura 7. Potenciómetro, marca HACH, modelo Sension 1.

(Fuente: Cortesía Laboratorio de Control de Calidad de Agua del GADM de Nabón)

2.6.2.2. ***Determinación de dureza total: Método titulométrico con EDTA.***

- **Principio:** El ácido etilendiaminotetraacético y sus sales de sodio (EDTA) forman un complejo de quelato soluble al añadirse a las soluciones de algunos cationes metálicos. Si a una solución acuosa que contenga iones calcio y magnesio a un pH de 10, se añade una pequeña cantidad de colorante, como Negro de Eriocromo T, la solución toma un color rojo vino. Si se añade EDTA como reactivo de titulación, los iones calcio y magnesio formarán un complejo y, cuando todos estos iones estén incluidos en dicho complejo, la solución cambiara del rojo vino al azul, señalando el punto final de la titulación.
- (13)

Cálculo:

$$\text{Dureza total (EDTA), en mg/L como CaCO}_3 = \frac{V_2 \times M \times K \times \text{Eq} - \text{g CaCO}_3}{V_1} \times 1000$$

Dónde:

D	Dureza total (EDTA) en miligramos de carbonato de calcio por litro
V ₁	Volumen de la muestra, en cm ³
V ₂	Volumen de solución de EDTA utilizando en la titulación, en cm ³
M	Molaridad de la solución de EDTA
K	Constante de titulación de la solución de EDTA
Eq-g	Equivalente gramo del CaCO_3

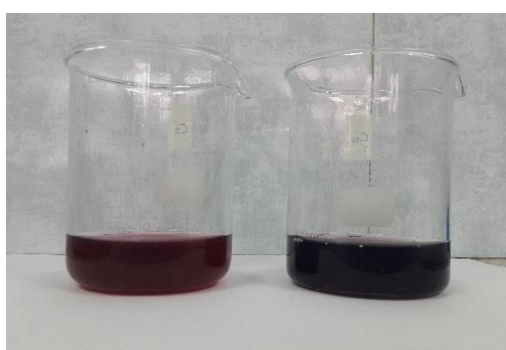


Figura 8. Método titulométrico con EDTA: Dureza total.

(Fuente: Las Autoras)

2.6.2.3. *Determinación de dureza cálcica: Método titulométrico con EDTA.*

- **Principio:** El calcio puede determinarse directamente usando EDTA, cuando el pH es suficientemente alto para que el magnesio precipite como hidróxido, y se usa un indicador que reaccione únicamente con el calcio. Varios indicadores cambian de color cuando todo el calcio ha formado un complejo en el EDTA a un pH de 12 a 13. (24)

Cálculo:

$$\text{Dureza cálcica, en mg/L como } \text{CaCO}_3 = \frac{A \times M \times K \times \text{Eq} - \text{g } \text{CaCO}_3}{B} \times 1000$$

Dónde:

A	Volumen de solución de EDTA utilizando en la titulación, en cm^3
B	Volumen de la muestra, en cm^3
M	Molaridad de la solución de EDTA
K	Constante de titulación de la solución de EDTA
Eq-g	Equivalente gramo del CaCO_3



Figura 9. Método titulométrico con EDTA: Dureza cálcica.

(Fuente: Las Autoras)

2.6.2.4. **Determinación de alcalinidad: Método de titulación.**

- **Principio:** Los iones hidroxilo presentes en una muestra como resultado de la disociación o hidrólisis de los solutos que reaccionan con las adiciones de ácido estándar. Por tanto, la alcalinidad depende del pH del punto final utilizado. (13)

La muestra se valora con una solución de ácido normalizada hasta pH 8,3 y 4,5. Estos puntos finales, que se determinan visual o potenciométricamente, son los puntos de equivalencia seleccionados para la determinación de los tres componentes principales: bicarbonato, carbonato e hidróxido. El punto final pH 8,3 esta próximo al punto de equivalencia para las concentraciones de carbonato y dióxido de carbono y representa la valoración de, aproximadamente, todo el hidróxido y de la mitad del carbonato presente. El

punto final pH 4,5 esta próximo al punto de equivalencia para el ion hidrógeno y el bicarbonato y permite la determinación de la alcalinidad total de la muestra.

(25)

Cálculos:

Alcalinidad compuesta valorable a pH 8,3 (alcalinidad a la fenolftaleína)

$$A_p, \text{ en mmol/L} = \frac{c(\text{HCl}) \times V_5 \times 1000}{V_4}$$

Dónde:

A_p	Es la capacidad de reacciona con los iones de hidrógeno, expresada en milimoles por litro, de la alcalinidad compuesta valorable a pH 8,3
$c(\text{HCl})$	Es la concentración real, expresada en moles por litro, de la solución de ácido clorhídrico utilizada
V_4	Es el volumen, en mililitros, de la porción de ensayo (normalmente 100 mL)
V_5	Es el volumen, en mililitros, de la solución de ácido clorhídrico consumida hasta alcanzar pH 8,3

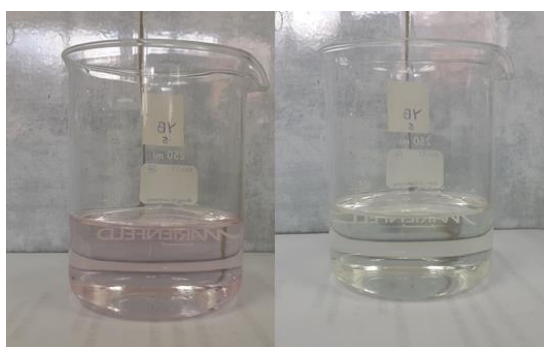


Figura 10. Método de titulación: Alcalinidad compuesta.

(Fuente: Las Autoras)

Alcalinidad total

$$A_T, \text{ en mmol/L} = \frac{c(\text{HCl}) \times V_6 \times 1000}{V_4}$$

Dónde:

A_T	Es la capacidad de reaccionar con los iones de hidrógeno, expresada en milimoles por litro, de la alcalinidad total valorable a pH 4,5
$c(\text{HCl})$	Es la concentración real, expresada en moles por litro, de la solución de ácido clorhídrico utilizada
V_4	Es el volumen, en mililitros, de la porción de ensayo (normalmente 100 mL)
V_6	Es el volumen, en mililitros, de la solución de ácido clorhídrico consumida hasta alcanzar pH 4,5

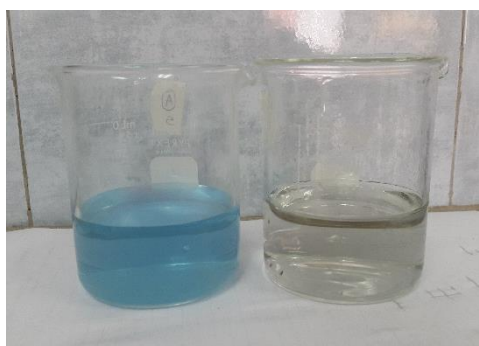


Figura 11. Método de titulación: Alcalinidad total.

(Fuente: Las Autoras)

2.7. Análisis microbiológico

2.7.1. Técnica de filtración por membrana.

- **Principio:** Se basa en la filtración de un volumen determinado de muestra (100 mililitros o volúmenes menores según la densidad bacteriana esperada) a través de un filtro de membrana de 0,45 micrómetros de diámetro de poro, el cual es colocado sobre una almohadilla absorbente (en una caja Petri) saturada con un medio de cultivo selectivo para lo que se desea determinar en la muestra (coliformes totales y fecales) y luego incubado a la temperatura adecuada durante 24 horas. (26) (27) (28)

Esta técnica es altamente reproducible y proporciona resultados numéricos, siendo una manera rápida y simple de estimar las poblaciones bacterianas en el agua y especialmente útil al evaluar grandes volúmenes o al realizar diariamente muchas pruebas de coliformes.

Los filtros de membrana son *filtros de superficie*, que muestran una estructura microporosa precisa. Durante la filtración las partículas mayores que los poros de la membrana son retenidas de forma fiable en la superficie de la misma, las partículas más pequeñas pueden pasar el filtro.

Se debe utilizar un filtro de membrana con un diámetro de poro que permita una completa retención de las bacterias coliformes; se emplean únicamente aquellos en los que se ha comprobado una retención de bacterias coliformes mediante una adecuada prueba de control de calidad y garantía por el fabricante. Hay que tener en cuenta que estos filtros estén libres de químicos susceptibles de inhibir el crecimiento y desarrollo bacteriano y que posean una velocidad de filtración satisfactoria. (28)



Figura 12. Sistema aséptico STERIFIL 500, incluye bomba manual para vacío.

(Fuente: Las Autoras)

2.7.2. Caldo de cultivo m-ColiBlue24®.

El medio ColiBlue24®, permite la detección simultánea en 24 horas de *E. coli* y bacterias coliformes; método aceptado y recomendado por la E.P.A. (Environmental Protection Agency) (29)

Se toma 100 mL de la muestra de agua y se hace filtrar por la membrana, para luego ser transferida la membrana a una caja Petri con el medio dispensado sobre el cartón absorbente. El medio de cultivo m-ColiBlue24® permite la detección simultánea de *E. coli* y coliformes totales. Este caldo contiene un indicador de alta sensibilidad a *E. coli* (1 UFC/100 mL), evitando la necesidad de posteriores pasos de confirmación. Se pueden identificar al menos un 95 % de todas las colonias de *E. coli* en 24 horas. Además, contiene inhibidores de crecimiento para bacterias no coliformes. El caldo m-ColiBlue24® no contiene desoxicolato o ácidos biliares en su composición, usados para inhibir el crecimiento de microorganismos estresados u oportunistas. Incubación de 24 ± 4 horas a $35^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

El aspecto de las colonias viene determinada por una combinación de indicadores, *E. coli* forma colonias de color azul y para el recuento de coliformes totales hay que sumar las colonias azules más las colonias rojas. (26)

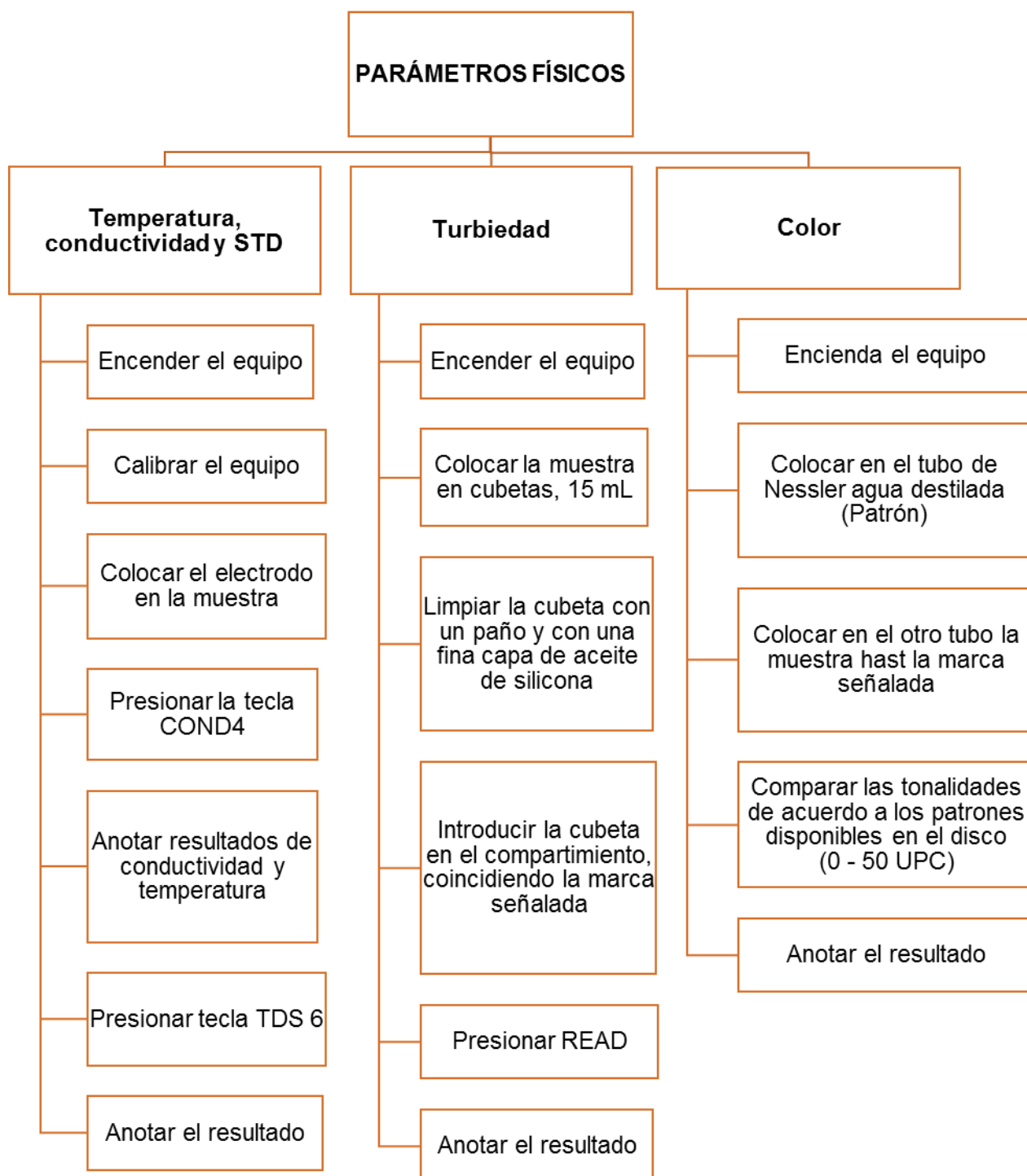


Figura 13. Caldo m-ColiBlue24®, cajas Petri en poliestireno y membranas de esteres de celulosa de 0,45 micras de poro de Millipore.

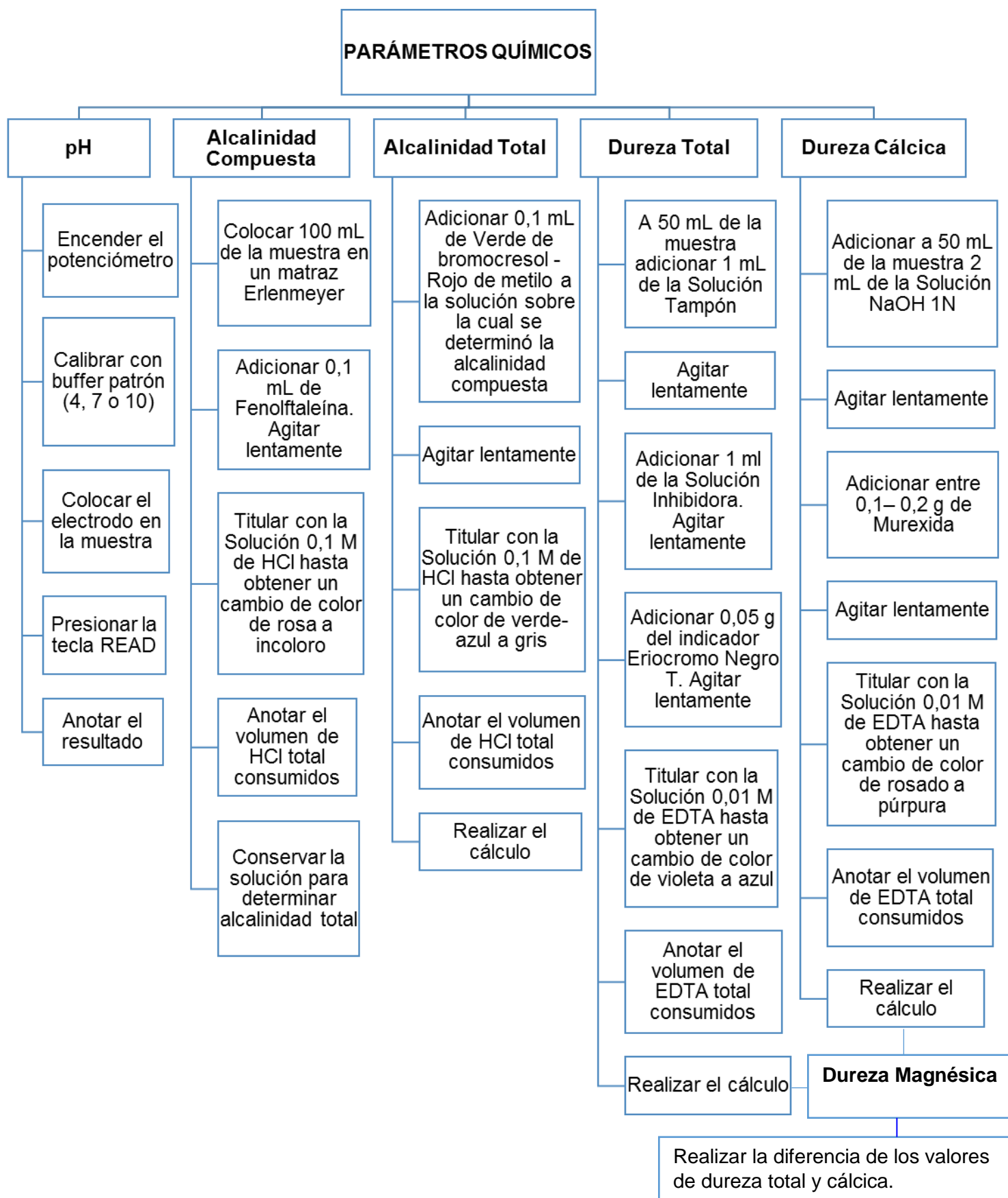
(Fuente: Las Autoras)

2.8. Flujograma de análisis

2.8.1. Flujograma de análisis de parámetros físicos de calidad de agua.

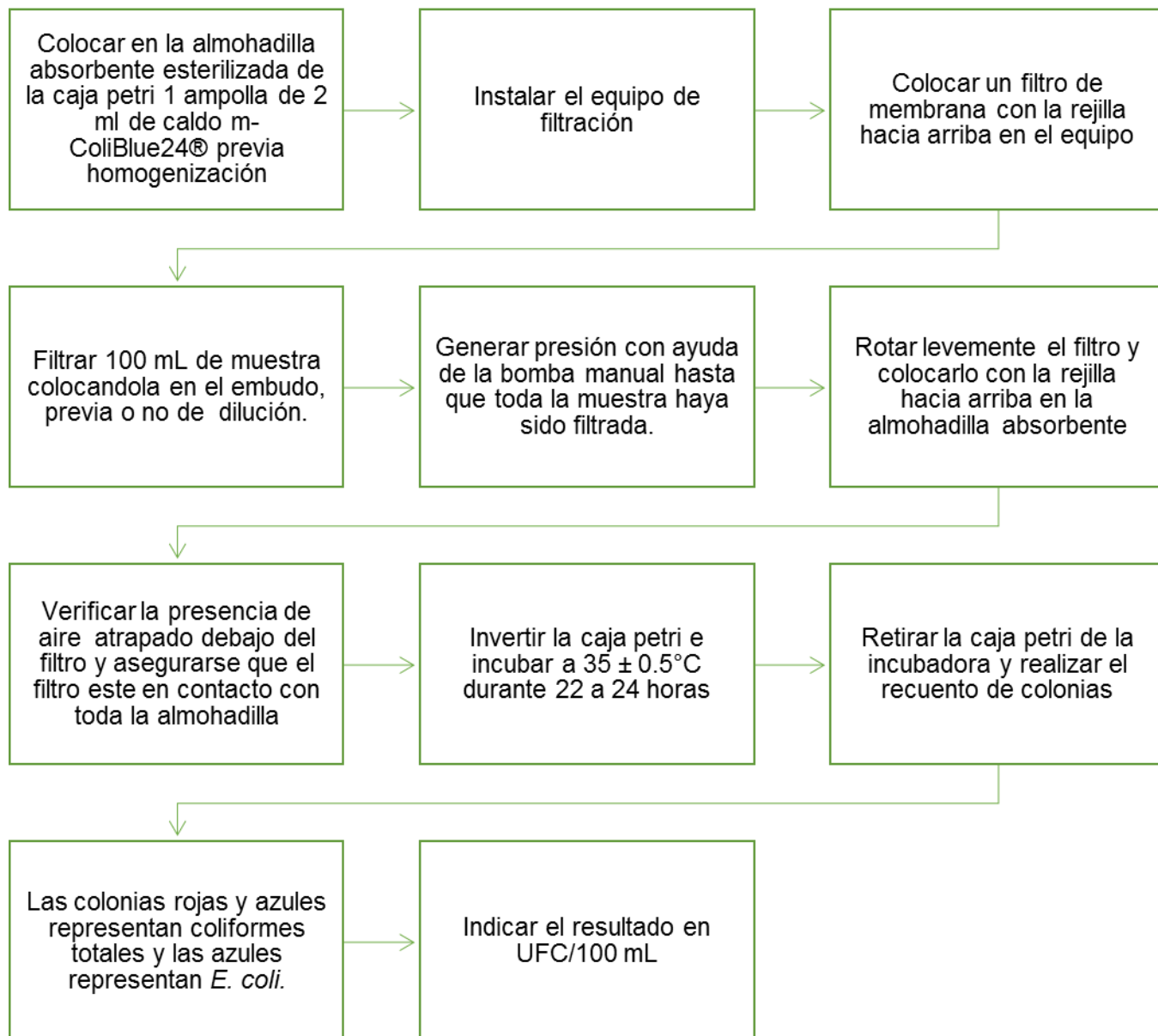


2.8.2. Flujoograma de análisis de parámetros químicos de calidad de agua.





2.8.3. Flujograma de análisis de parámetros microbiológicos de calidad de agua.





CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis de los niveles permisibles tolerables de acuerdo a la NTE INEN 1108:2014

3.1.1. Resultados del porcentaje de parámetros físico – químicos en relación al límite máximo y mínimo permisible.

De los datos obtenidos del análisis de los parámetros físico – químicos de las distintas muestras tanto de agua de entrada como de salida (Anexo H), se obtuvo el porcentaje en relación a los niveles permisibles, mínimos y máximos tolerables de acuerdo a la NTE INEN 1108:2014.

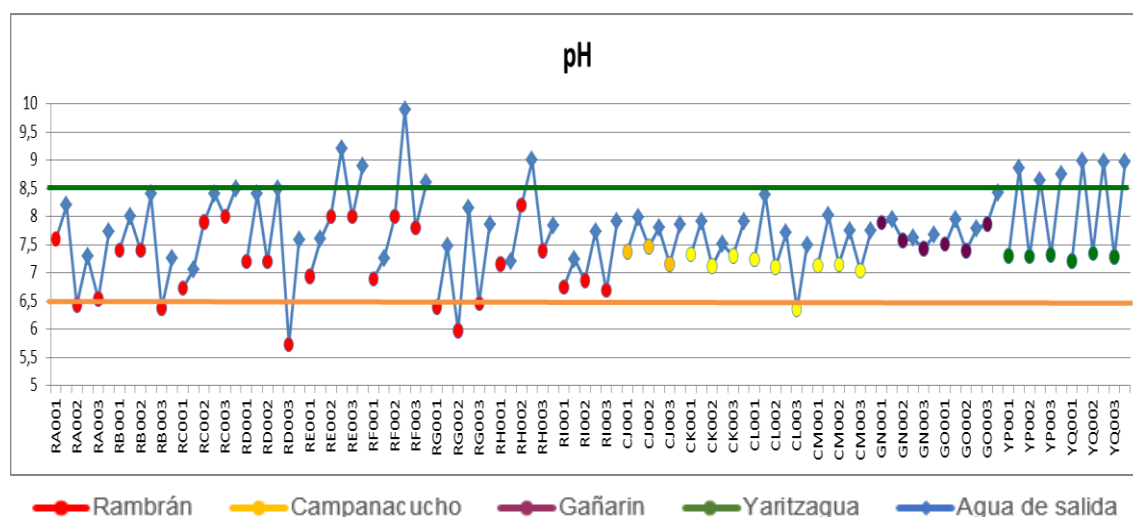
Tabla 2. Resultados del porcentaje de muestras que no cumplen con los niveles permisibles de parámetros físico – químicos.

Parámetro	Unidad	Referencia	Agua de Entrada		Agua de Salida	
			Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
pH	---	< 6,5	7	13,72 %	0	0 %
		> 8,5	0	0 %	11	21,56 %
STD	mg/L	< 500	51	100 %	51	100 %
		> 1000	0	0 %	0	0 %
Conductividad	µs/cm	< 500	51	100%	51	100%
		> 1000	0	0 %	0	0 %
Turbiedad	NTU	> 5	22	43 %	41	80 %
Color	UPC	> 15	30	58,82 %	35	68,62 %
Dureza Total	mg/L	< 120	51	100 %	51	100 %
	CaCO ₃	> 300	0	0 %	0	0 %
Dureza Cálctica	mg/L CaCO ₃	> 100	0	0 %	1	1,96 %

Dureza Magnésica	mg/L CaCO ₃	> 50	0	0 %	0	0 %
Alcalinidad Total	mmol/L	< 0,2	1	1,96 %	0	0 %
		> 1	17	33,33 %	49	96 %

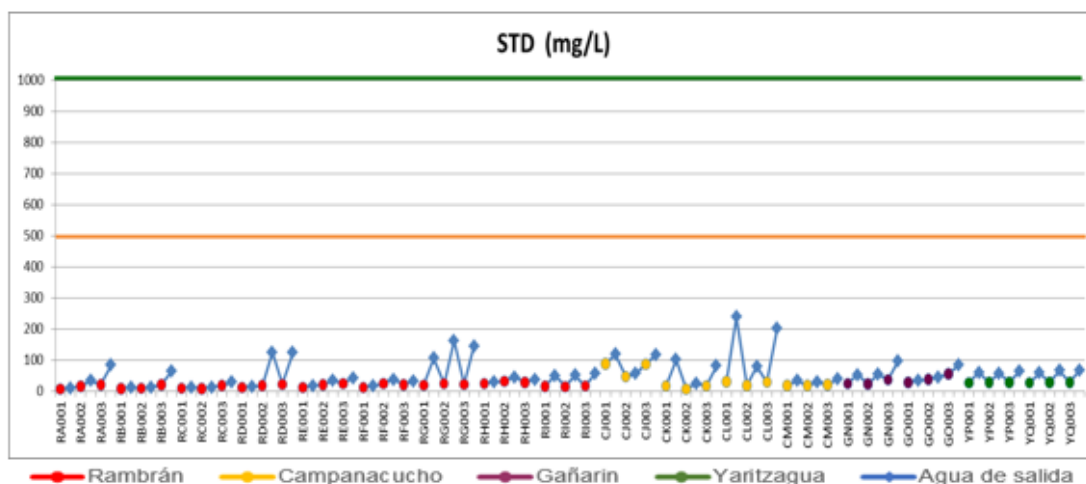
3.1.1.1. Análisis de parámetros físico – químicos.

De los datos obtenidos del análisis de los parámetros físico – químicos de las distintas muestras tanto de agua de entrada como de salida (Anexo H), se obtuvo la representación gráfica en relación a los niveles permisibles, mínimos y máximos tolerables de acuerdo a la NTE INEN 1108:2014.



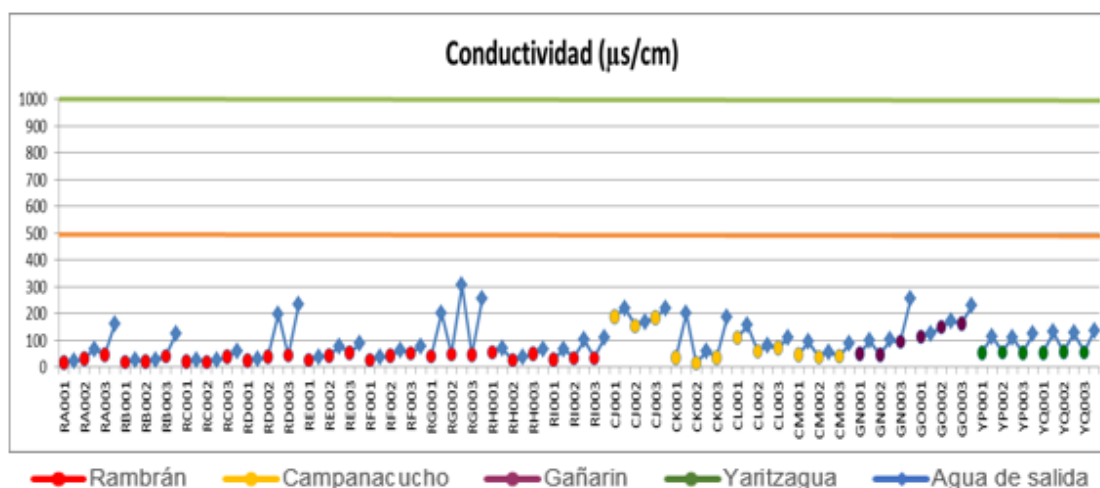
Gráfica 1. Dispersión lineal de pH.

En la gráfica se aprecia que la mayoría de muestras de agua de entrada y salida cumplen con los límites permisibles de pH, estando un 13,72% por debajo del límite mínimo en relación a la de entrada y un 21,56% por encima del límite máximo en relación a la de salida; considerando así que la mayoría del agua tiene un equilibrio ácido – base debido a las sales minerales que presenta. (Tabla 2)



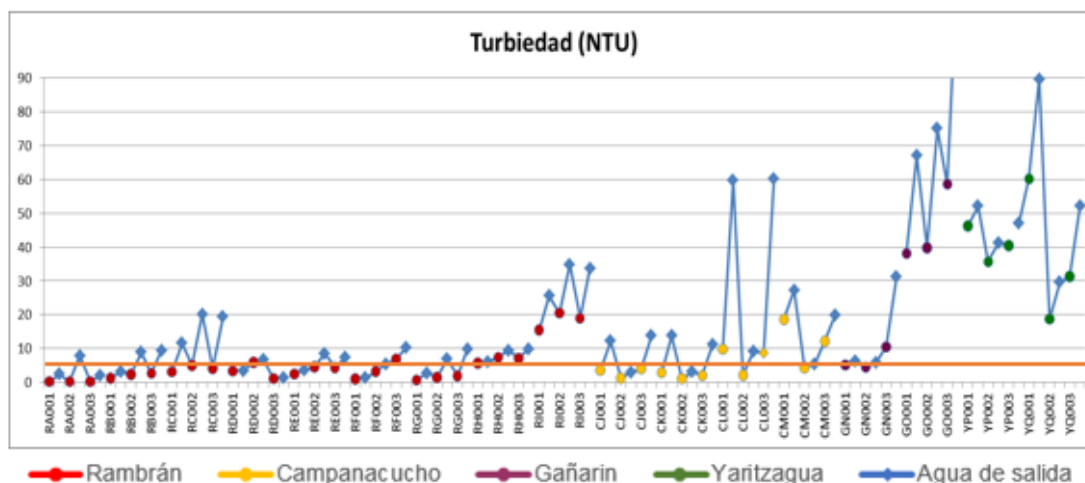
Gráfica 2. Dispersión lineal de sólidos totales disueltos.

Como se muestra en la gráfica 2, todas las muestras de agua de entrada y salida están por debajo del límite mínimo permisible de sólidos totales disueltos; considerando así que la cantidad de sales filtrables es aceptable. (Tabla 2)



Gráfica 3. Dispersión lineal de conductividad.

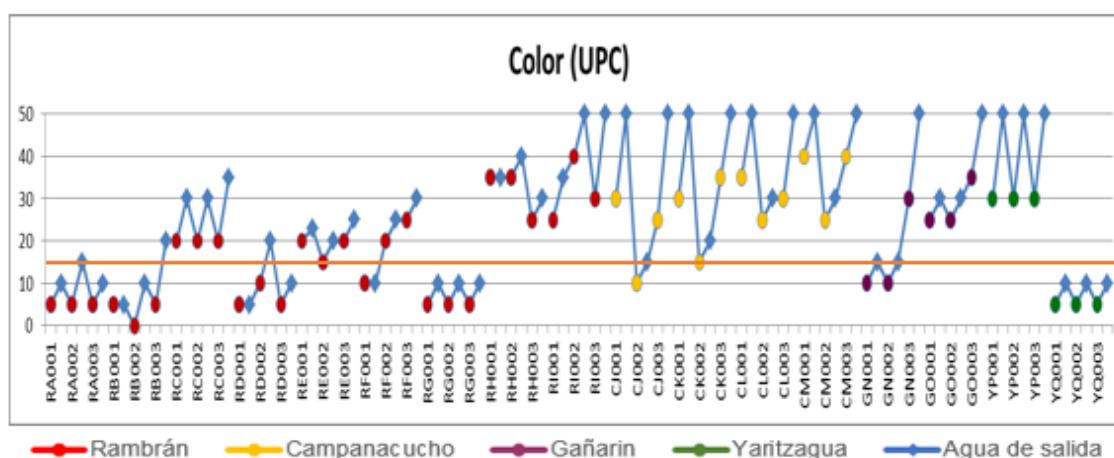
Como se observa, todas las muestras de agua de entrada y salida están por debajo del límite mínimo permisible de conductividad. Se aprecia que existe una relación directa con STD, debido a que ambos parámetros miden compuestos iónicos disueltos. (Tabla 2)



Gráfica 4. Dispersión lineal de turbiedad.

La gráfica ilustra que la mayoría de muestras de agua de entrada cumplen con el límite permisible de turbiedad, estando un 43% por encima del mismo, posiblemente se deba a que las fuentes de agua tienen gran cantidad de sólidos en suspensión, lo que podría generar un rechazo directo por el consumidor.

En cuanto a las muestras de agua de salida se encontró que un mínimo porcentaje cumple con el límite permisible de turbiedad, estando un 80% por encima del mismo; probablemente por la falta de un pre-tratamiento del agua de entrada a los FBA, lo que ocasiona una acumulación de sedimentos, afectando de manera directa este parámetro. (Tabla 2)

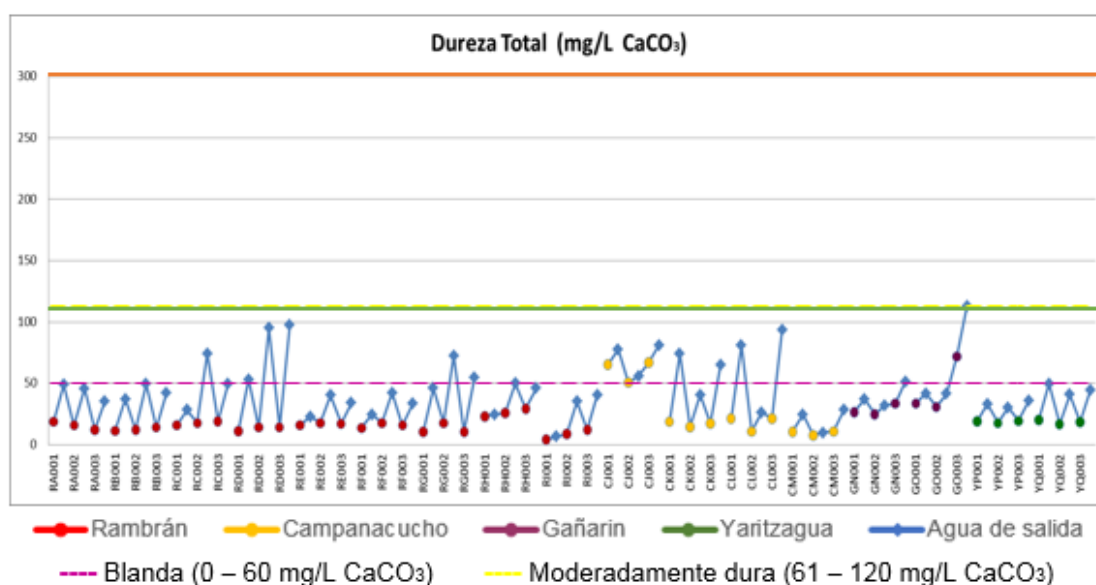


Gráfica 5. Dispersión lineal de color.

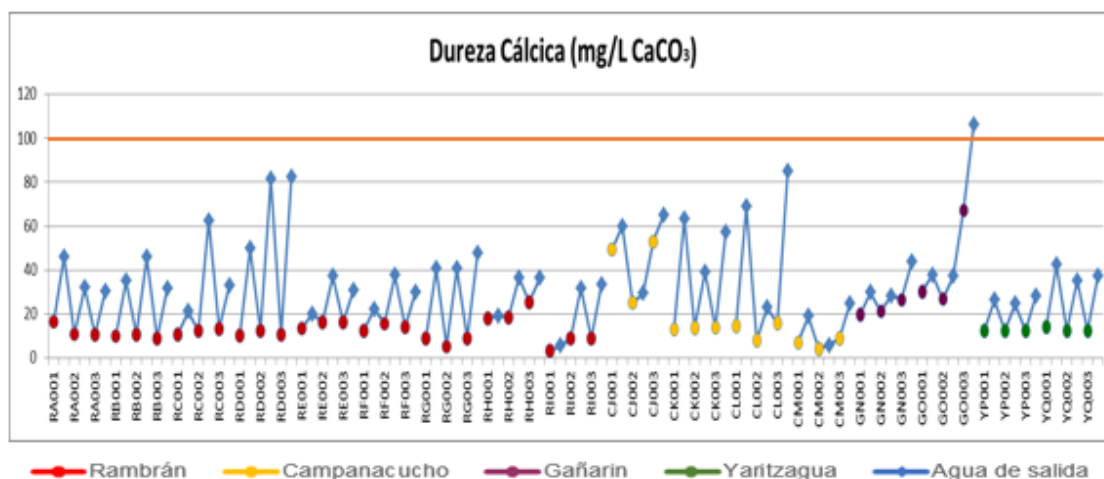
Se observa que menos de la mitad de las muestras de agua de entrada cumplen con el límite permisible de color, estando un 58,82% por encima del mismo; considerando así que las fuentes de agua pueden estar coloreadas por la presencia de iones metálicos naturales (hierro, manganeso) y materia orgánica.

En cuanto a las muestras de agua de salida se encontró que un mínimo porcentaje cumple con el límite permisible de color, estando un 68,62% por encima del mismo. Se aprecia que existe una relación directa con turbiedad, debido a que ambos parámetros son afectados por la falta de un pre-tratamiento del agua de entrada y de mantenimiento del FBA. (Tabla 2)

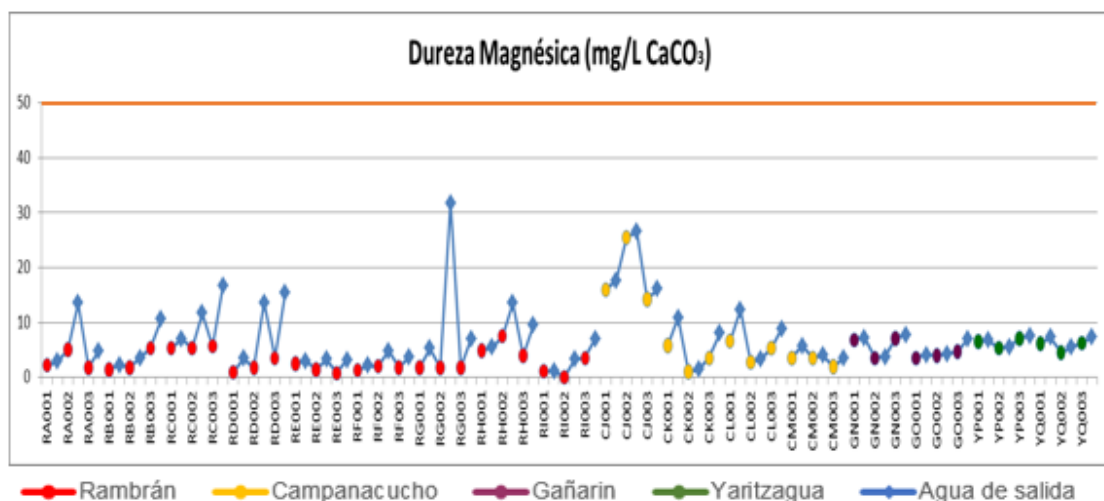
El color y la turbidez, son parámetros que en forma conjunta le dan calidad al agua en lo que se refiere a sus características estéticas que son muy importantes para el consumidor.



Gráfica 6. Dispersión lineal de dureza total.



Gráfica 7. Dispersión lineal de dureza cálcica.

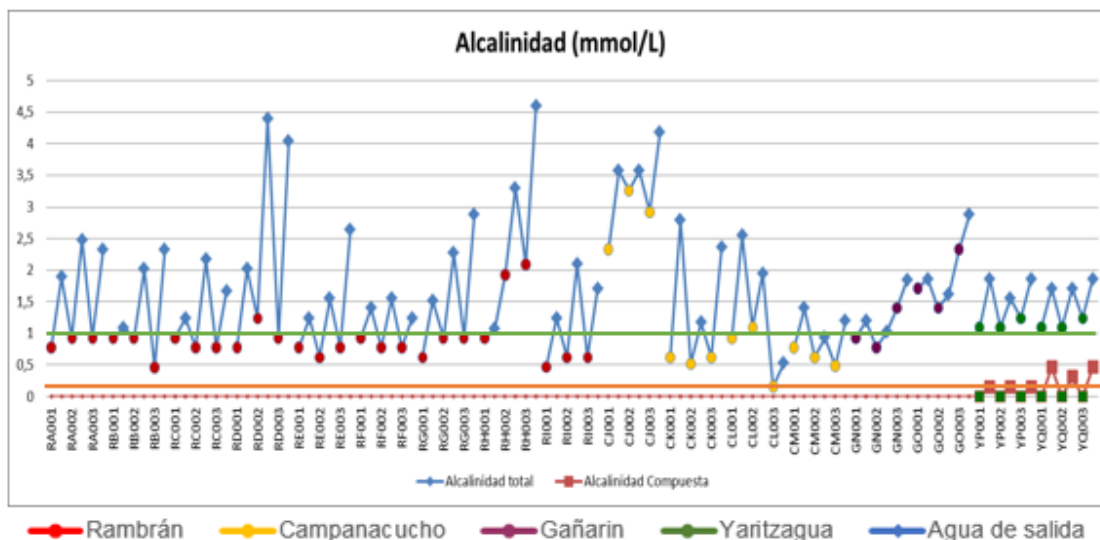


Gráfica 8. Dispersión lineal de dureza magnésica.

Las gráficas 6, 7 y 8 indican que todas las muestras de agua de entrada están por debajo del límite mínimo permisible de dureza total, y máximo de cálcica y magnésica; catalogando a la mayoría de fuentes como *aguas blandas* según la OMS.

En cuanto a las muestras de agua de salida se encontró que todas están por debajo del límite mínimo permisible de dureza total, siendo en su mayoría aguas de tipo *blandas*; sin embargo, existe un mínimo de muestras que son catalogadas como *aguas moderadamente duras* según la OMS. Para la dureza

cálcica se encontró que el 1,96% de las muestras están por encima del límite permisible, y para la dureza magnésica que todas las muestras están por debajo del límite. (Tabla 2)



Gráfica 9. Dispersión lineal de alcalinidad total y compuesta.

En la gráfica se observa que la mayoría de muestras de agua de entrada cumplen con los límites permisibles de alcalinidad, estando un 33,33% por encima del límite máximo. Se aprecia que existe una relación directa con pH, debido a que ambos parámetros se relacionan con el equilibrio ácido-base.

En cuanto a las muestras de agua de salida se encontró que un mínimo porcentaje cumple con los límites permisibles de alcalinidad, estando un 96% por encima del límite máximo. (Tabla 2)

3.1.2. Resultados del porcentaje de parámetros microbiológicos en relación al límite máximo permisible.

De los datos obtenidos del análisis de los parámetros microbiológicos de las distintas muestras tanto de agua de entrada como de salida (Anexo I), se obtuvo el porcentaje en relación al nivel máximo permisible de acuerdo a la NTE INEN 1108:2014.

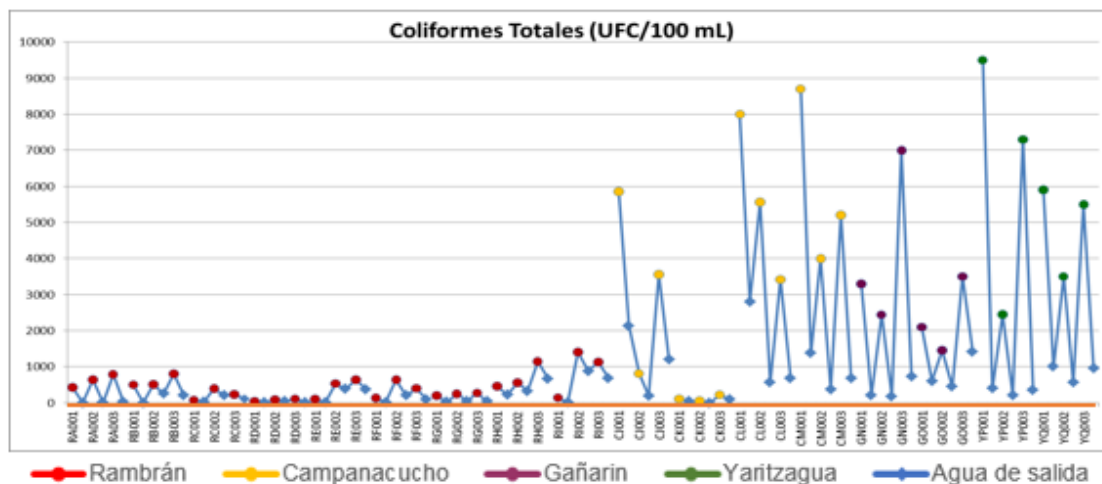
Tabla 3. Resultados del porcentaje de muestras que no cumplen con el nivel permisible de parámetros microbiológicos.

Parámetro	Unidad	Referencia	Agua de Entrada		Agua de Salida	
			Frecuencia	Porcentaje	Frecuencia	Porcentaje
Coliformes totales	UFC/100 mL	< 1*	51	100%	49	96,08%
Coliformes fecales	UFC/100 mL	< 1*	48	94,12%	23	45,1%

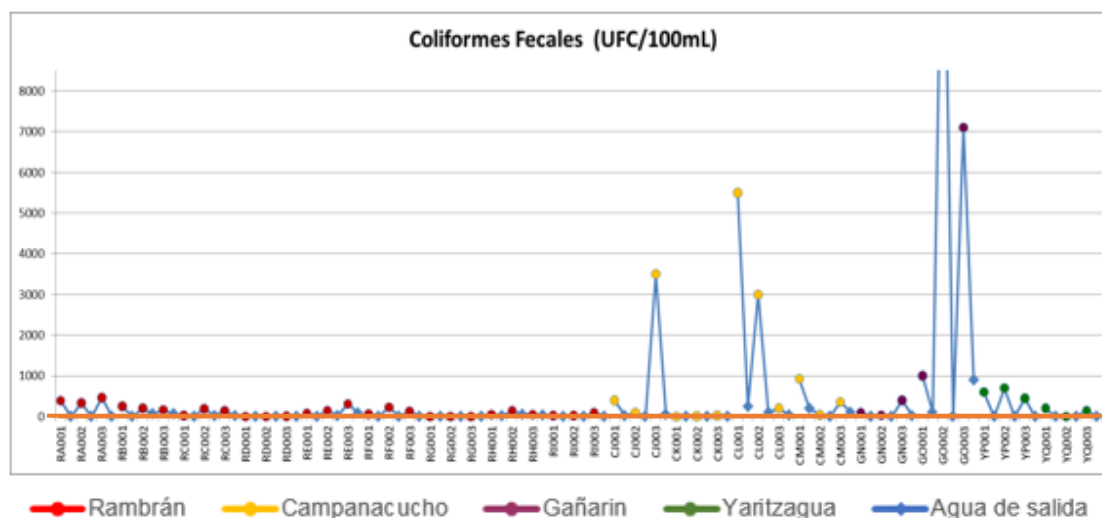
* < 1 significa que no se observan colonias

3.1.2.1. Análisis de los parámetros microbiológicos.

De los datos obtenidos del análisis de los parámetros microbiológicos de las distintas muestras tanto de agua de entrada como de salida (Anexo I), se obtuvo la representación gráfica en relación al nivel máximo permisible de acuerdo a la NTE INEN 1108:2014.



Gráfica 10. Dispersión lineal de coliformes totales.



Gráfica 11. Dispersión lineal de coliformes fecales.

Como se aprecia en las gráficas 10 y 11, la mayoría de muestras de agua de entrada no cumplen con el límite máximo permisible de coliformes totales y fecales, siendo principalmente la contaminación del agua por coliformes totales en un 100% y considerando que presenta una carga microbiana alta posiblemente por las fuentes de pastoreo aledañas, ya que el valor mínimo encontrado fue de 42 UFC/100 mL, limitando así considerablemente los usos del agua.

En cuanto a las muestras de agua de salida se encontró que coliformes totales en su mayoría no cumple con el límite permisible a diferencia de coliformes fecales, siendo el mismo de 45,1%. Es necesario destacar que el FBA, disminuye los recuentos pero este varía de acuerdo a la contaminación microbiológica de entrada.

3.2. Análisis comparativo entre los filtros de bioarena de las comunidades de Rambrán, Campanacucho, Gañarín y Yaritzagua

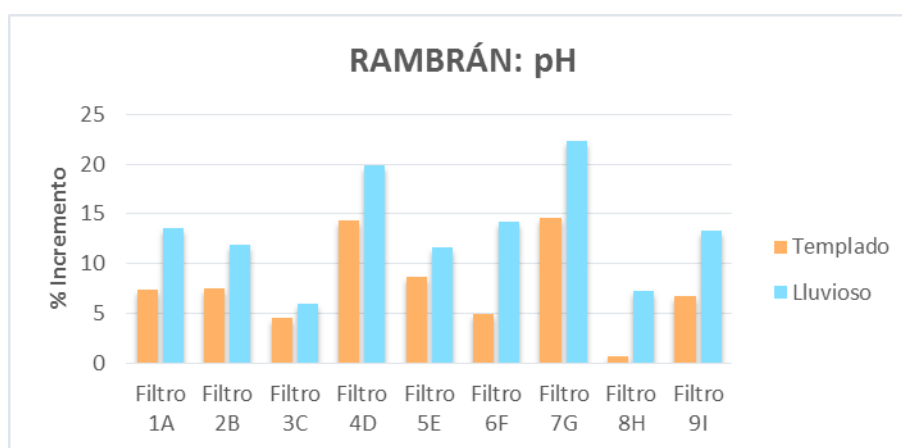
3.2.1. Parámetros físico – químicos.

Se realizó la comparación del porcentaje de incremento de los parámetros físico – químicos entre los FBA pertenecientes a cada comunidad, en cada caso se consideró el clima en el cual fue tomada la muestra, sea lluvioso o templado; a excepción de Yaritzagua que únicamente fue templado.

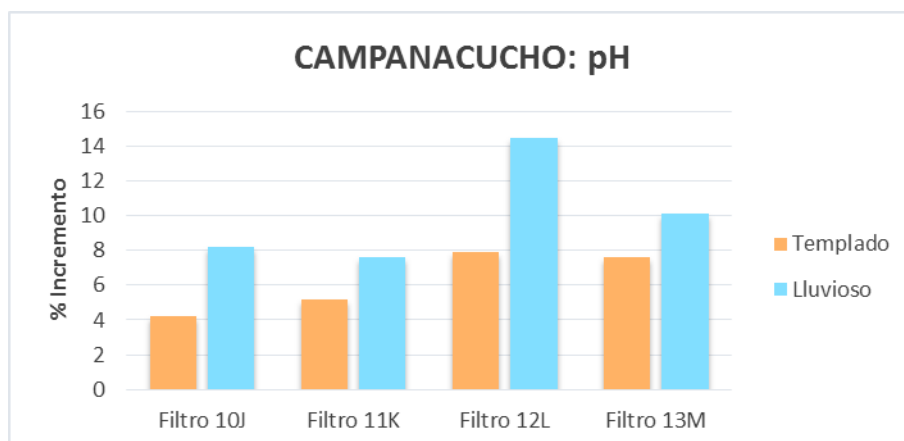
- pH

Tabla 4. Resultados del porcentaje de incremento de pH en las comunidades.

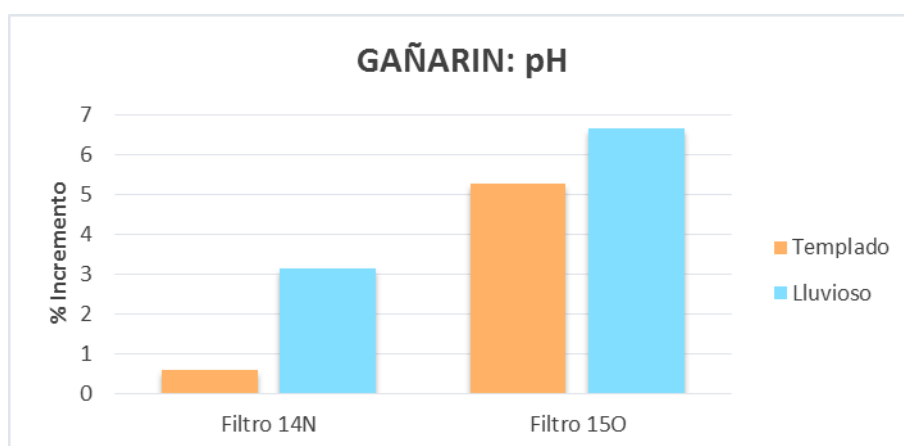
Comunidad	pH: % Incremento	
	Templado	Lluvioso
Rambrán	7,70	13,33
Campanacucho	6,24	10,09
Gañarin	2,93	4,89
Yaritzagua	17,67	-



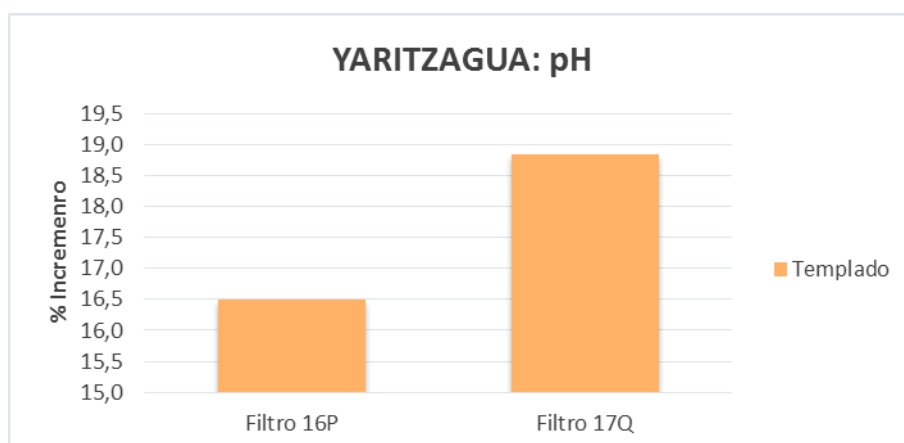
Gráfica 12. Comparación de pH entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 13. Comparación de pH entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 14. Comparación de pH entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 15. Comparación de pH entre los FBA, Yaritzagua.

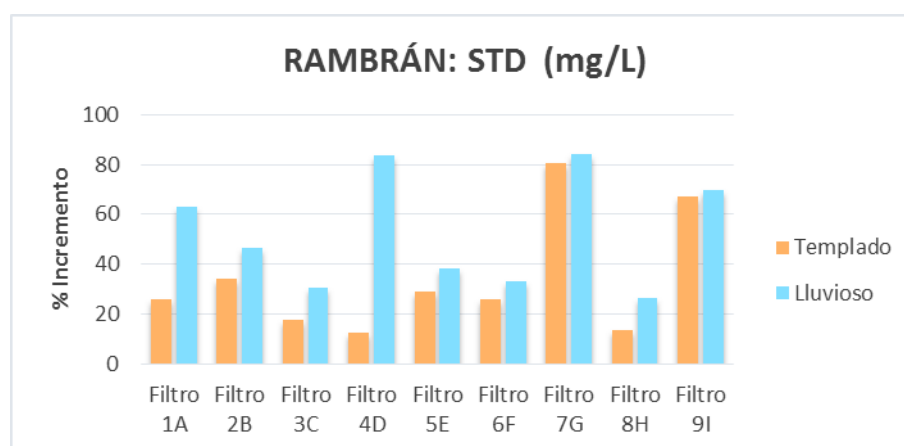
De las gráficas anteriores se obtiene que los porcentajes de incremento de pH son menores en clima templado y mayores en lluvioso.

El estudio *“Filtración lenta con arena para el tratamiento de agua en comunidades rurales - Octubre 2009”*, realizado por Ramírez Leonardo, concluye que no hay porcentaje de remoción de pH, a diferencia del estudio *“Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la Comunidad de Kuychiro-Cusco-2010”*, realizado por Barrientos Honorio, Tello Jonny y colaboradores, que indica un 9,1%; mientras que, en este estudio no existe un porcentaje de remoción; por el contrario, hay uno de incremento (Tabla 4), quizás debido a la presencia de sales en la arena de río y a su deficiente tratamiento previo al empleo en los FBA.

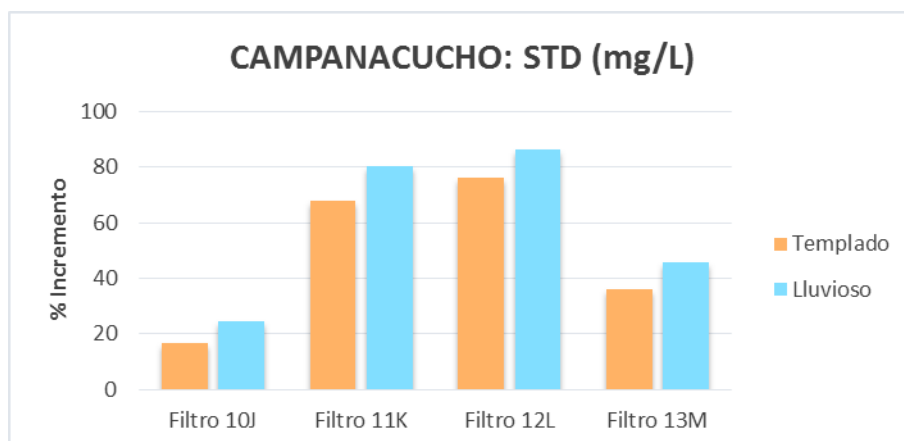
- **Sólidos totales disueltos**

Tabla 5. Resultados del porcentaje de incremento de STD en las comunidades.

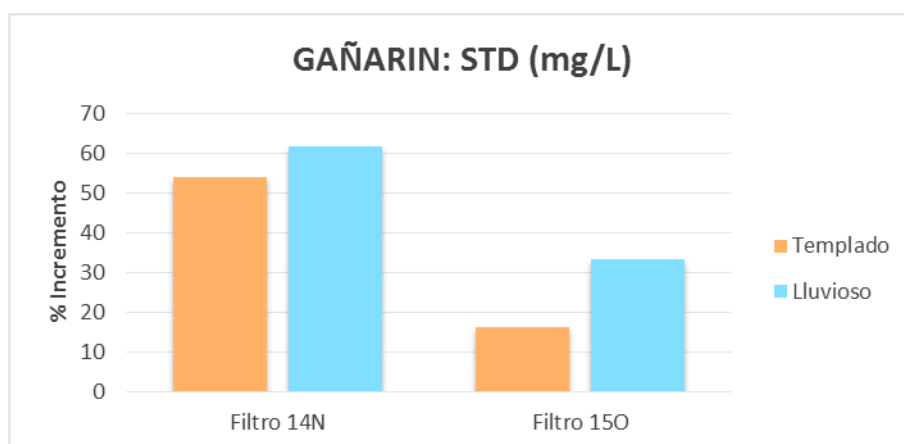
Comunidad	STD: % Incremento	
	Templado	Lluvioso
Rambrán	34,03	52,87
Campanacucho	49,15	59,15
Gañarin	35,15	47,47
Yaritzagua	54,46	-



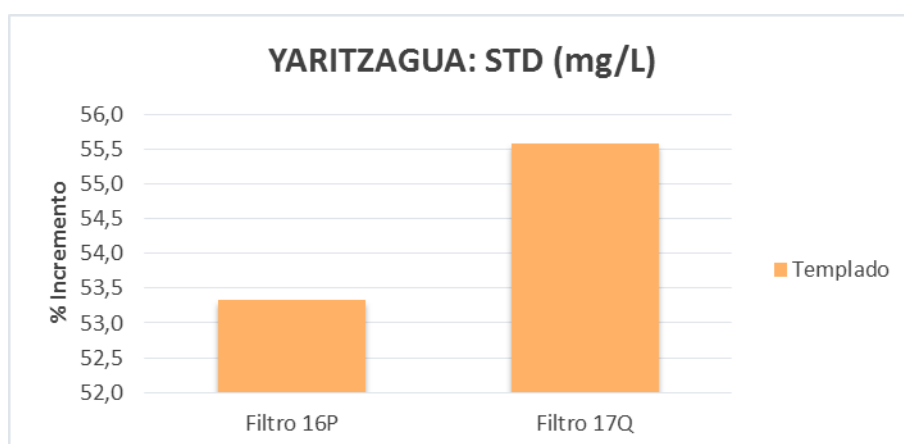
Gráfica 16. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 17. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 18. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 19. Comparación de sólidos totales disueltos entre los FBA, Yaritzagua.

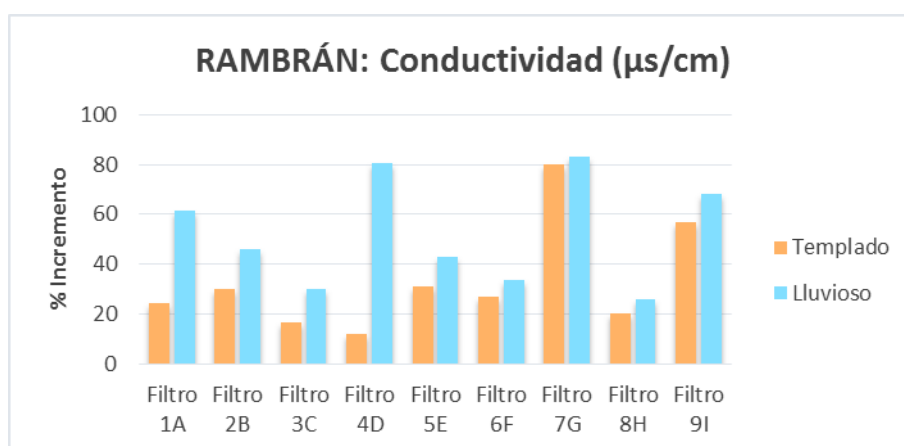
Los resultados de las gráficas muestran que los porcentajes de incremento de STD son menores en clima templado y mayores en lluvioso.

El estudio *“Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la Comunidad de Kuychiro-Cusco-2010”*, realizado por Barrientos Honorio, Tello Jonny y colaboradores, concluye que el porcentaje de remoción de STD es de 4,81%. Al comparar con los resultados de este trabajo, no existe un porcentaje de remoción; por el contrario, hay uno de incremento (Tabla 5), probablemente debido a la presencia de aniones inorgánicos disueltos como carbonatos y fosfatos; además de cationes como calcio, magnesio y potasio, que constituyen los principales componentes de la arena de río. (30)

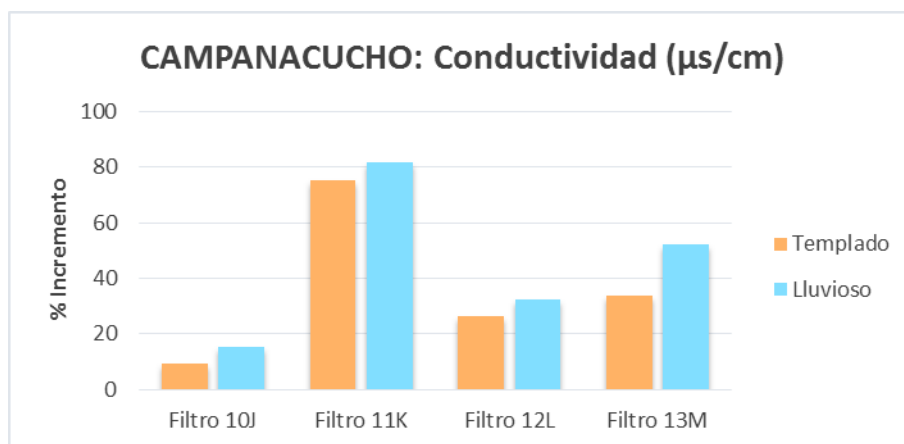
- **Conductividad**

Tabla 6. Resultados del porcentaje de incremento de conductividad en las comunidades.

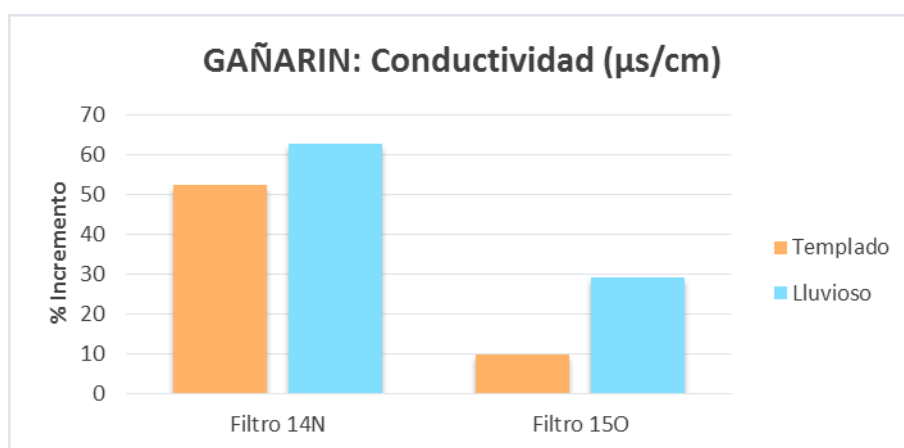
Comunidad	Conductividad: % Incremento	
	Templado	Lluvioso
Rambrán	33,20	52,47
Campanacucho	36,07	45,3
Gañarin	30,99	45,79
Yaritzagua	55,53	-



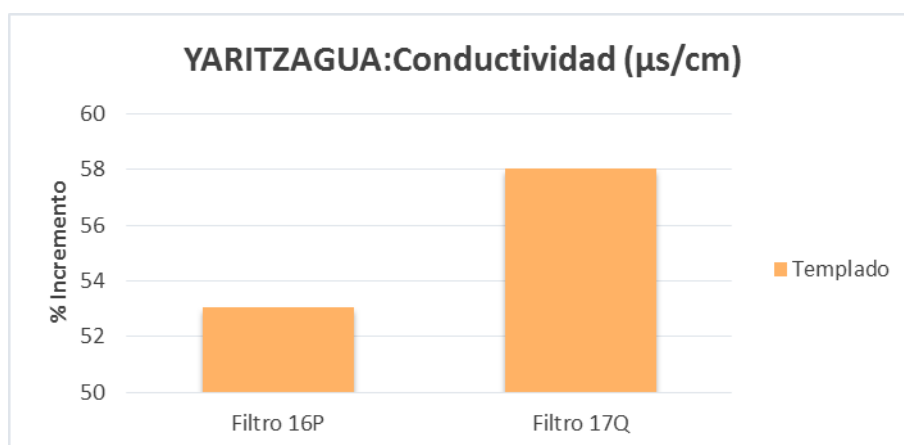
Gráfica 20. Comparación de conductividad entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 21. Comparación de conductividad entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 22. Comparación de conductividad entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 23. Comparación de conductividad entre los FBA, Yaritzagua.

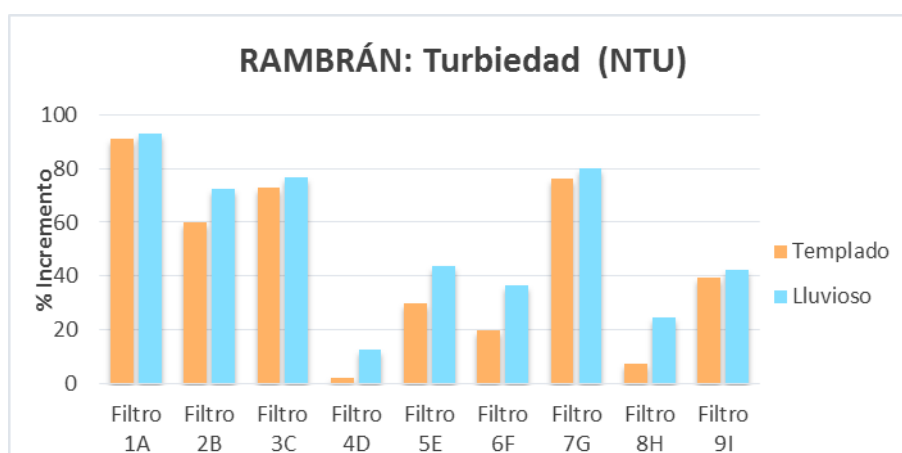
Las gráficas anteriores indican que los porcentajes de incremento de conductividad son menores en clima templado y mayores en lluvioso.

El estudio *“Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la Comunidad de Kuychiro-Cusco-2010”*, realizado por Barrientos Honorio, Tello Jonny y colaboradores, demuestra que el porcentaje de remoción de conductividad es de 4,4%; entre tanto que, en este estudio no existe un porcentaje de remoción; por el contrario hay uno de incremento (Tabla 6). Se aprecia que hay una relación directa entre el comportamiento de la conductividad y STD, pues si el agua tiene una gran cantidad de iones disueltos su conductividad va a ser mayor.

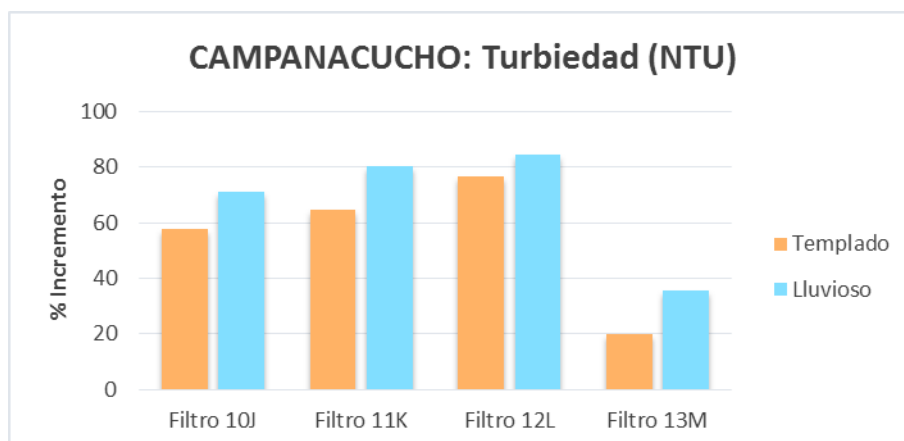
- **Turbiedad**

Tabla 7. Resultados del porcentaje de incremento de turbiedad en las comunidades.

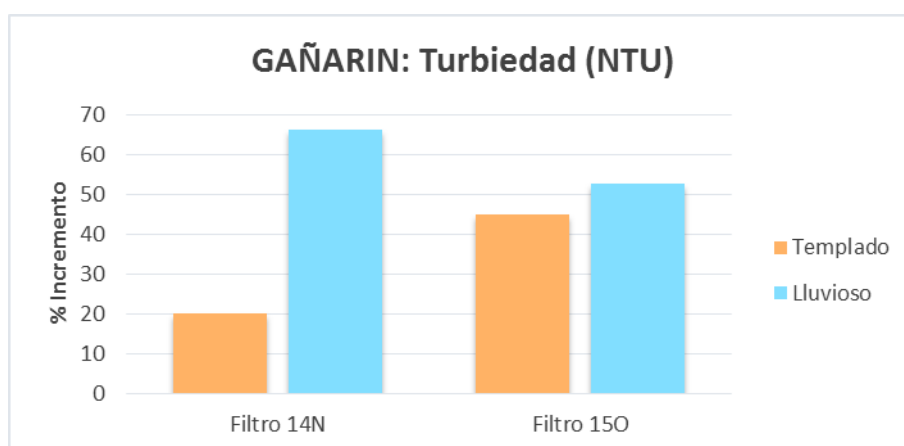
Comunidad	Turbiedad: % Incremento	
	Templado	Lluvioso
Rambrán	44,32	53,59
Campanacucho	54,85	67,74
Gañarin	32,56	59,49
Yaritzagua	24,69	-



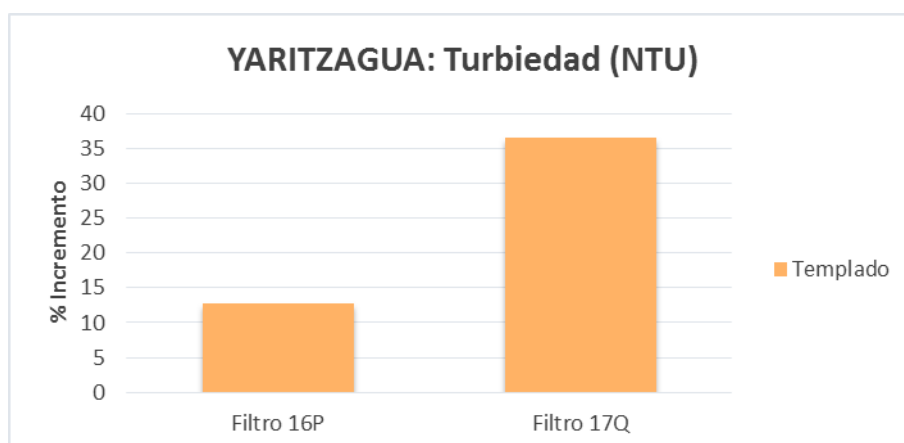
Gráfica 24. Comparación de turbiedad entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 25. Comparación de turbiedad entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 26. Comparación de turbiedad entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 27. Comparación de turbiedad entre los FBA, Yaritzagua.



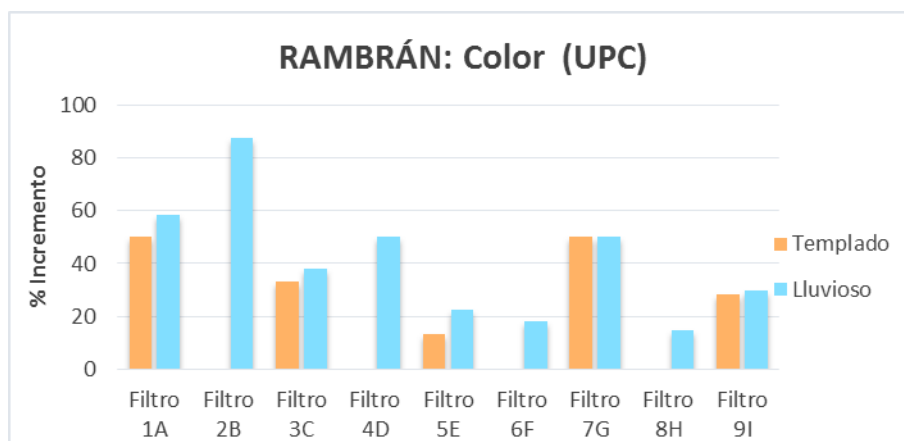
Como se observa en las gráficas anteriores, los porcentajes de incremento de turbiedad son menores en clima templado y mayores en lluvioso.

El estudio *“Filtración lenta con arena para el tratamiento de agua en comunidades rurales - Octubre 2009”*, realizado por Ramírez Leonardo, señala que el porcentaje de remoción de turbiedad es de 16,7%; de manera similar con los estudios *“Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la Comunidad de Kuychiro-Cusco-2010”*, por Barrientos Honorio, Tello Jonny y colaboradores, y *“Evaluation of Household BioSand Filters in Ethiopia – Agosto 2006”*, por Earwaker Paul de la Universidad de Cranfield, que establecen que es de 24,6% y 82,1% respectivamente; mientras tanto, en este estudio no existe un porcentaje de remoción; por el contrario, hay uno de incremento (Tabla 7), posiblemente este aumento se debe al arrastre de sedimentos que se depositan en las fuentes de abastecimiento generalmente durante la época lluviosa, ocasionando que los FBA sean incapaces de procesar altos niveles de turbidez, causando una rápida pérdida de la magnitud de flujo y por ende, el arrastre de partículas de arena.

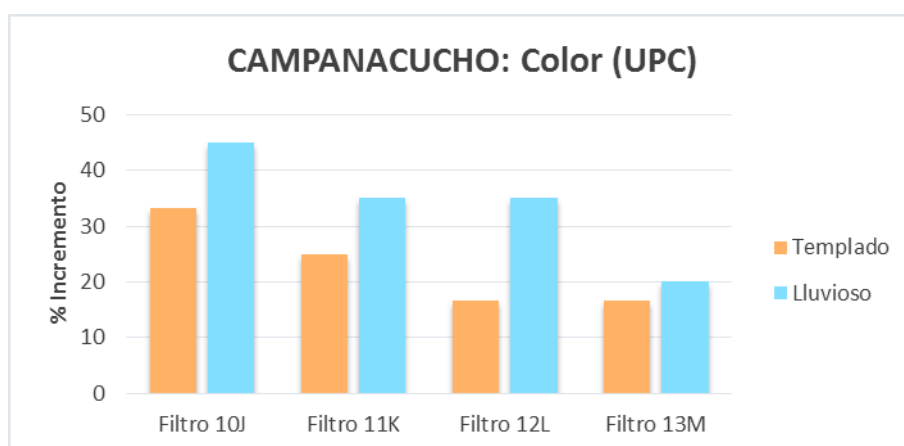
- **Color**

Tabla 8. Resultados del porcentaje de incremento de color en las comunidades.

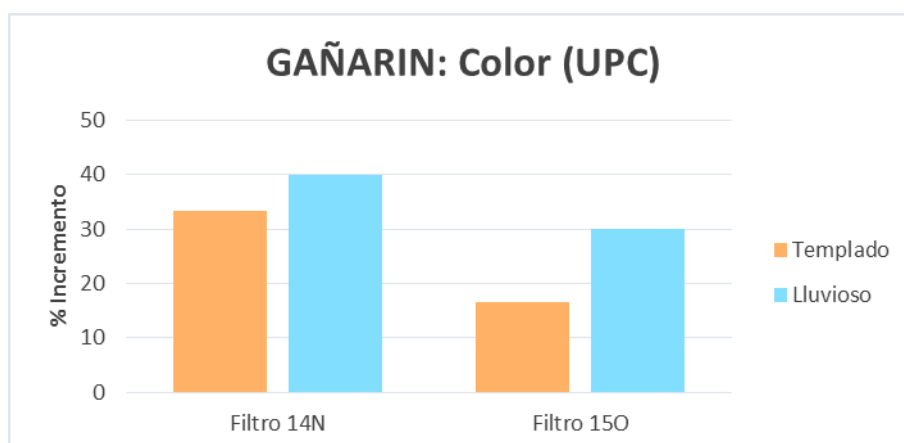
Comunidad	Color: % Incremento	
	Templado	Lluvioso
Rambrán	19,44	41,04
Campanacucho	22,92	33,75
Gañarin	25	35
Yaritzagua	45	-



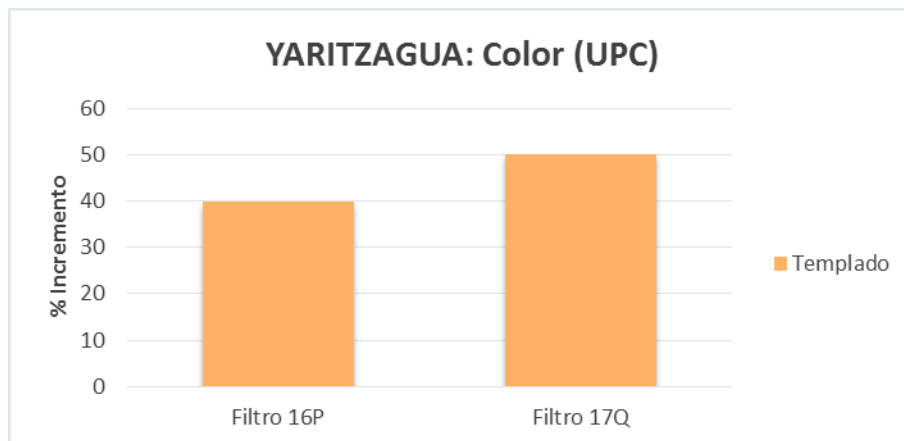
Gráfica 28. Comparación de color entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 29. Comparación de color entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 30. Comparación de color entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 31. Comparación de color entre los FBA, Yaritzagua.

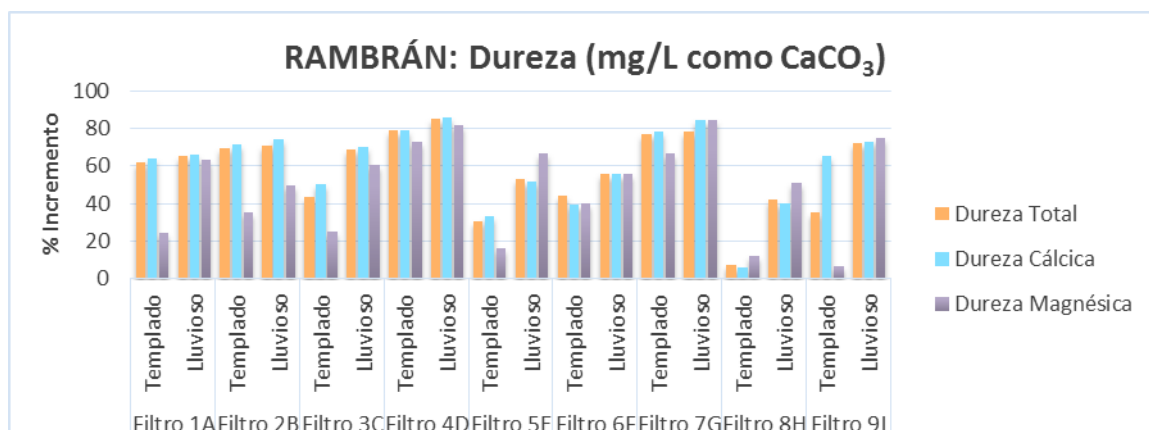
De las gráficas anteriores se obtiene que los porcentajes de incremento de color son menores en clima templado y mayores en lluvioso.

El estudio *“Filtración lenta con arena para el tratamiento de agua en comunidades rurales - Octubre 2009”*, realizado por Ramírez Leonardo, concluye que el porcentaje de remoción de color es de 56,2%; mientras que, en este estudio no existe un porcentaje de remoción; por el contrario, hay uno de incremento (Tabla 8). La arena a más de la sílice tiene otros compuestos químicos como la alúmina, potasio, carbonato de calcio y óxido de hierro, siendo el último responsable del incremento de la coloración del agua.

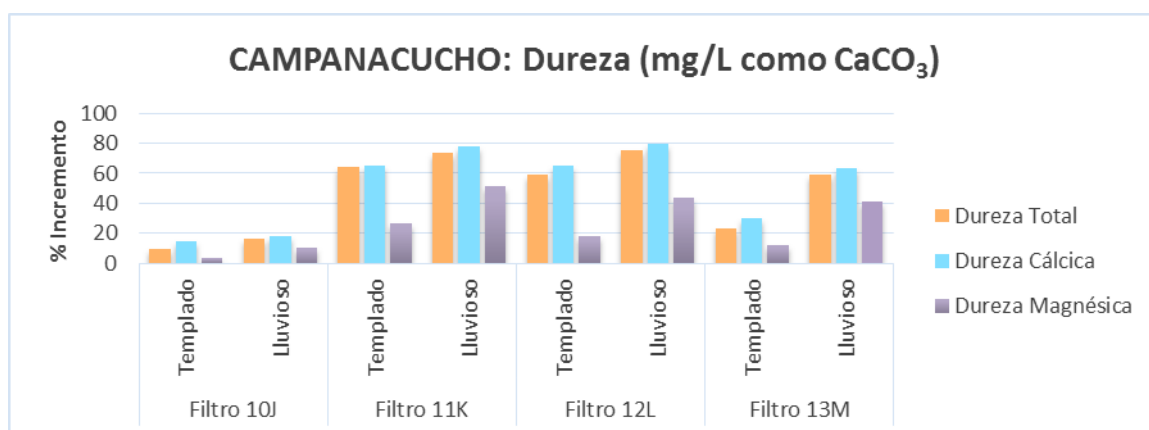
- **Dureza total, cálcica y magnésica**

Tabla 9. Resultados del porcentaje de incremento de dureza total, cálcica y magnésica en las comunidades.

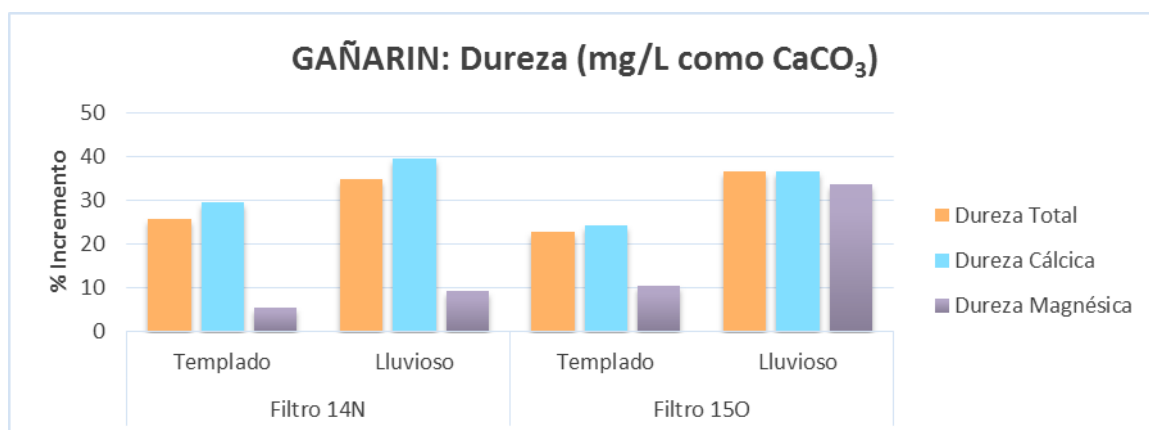
Comunidad	Dureza total: % Incremento		Dureza cálcica: % Incremento		Dureza magnésica: % Incremento	
	Templado	Lluvioso	Templado	Lluvioso	Templado	Lluvioso
Rambrán	49,80	65,72	54,14	66,75	33,20	65,40
Campanacucho	38,73	56,43	43,64	59,84	14,98	36,76
Gañarin	24,21	35,71	26,88	38,09	7,93	21,44
Yaritzagua	51,07	-	59,64	-	10,34	-



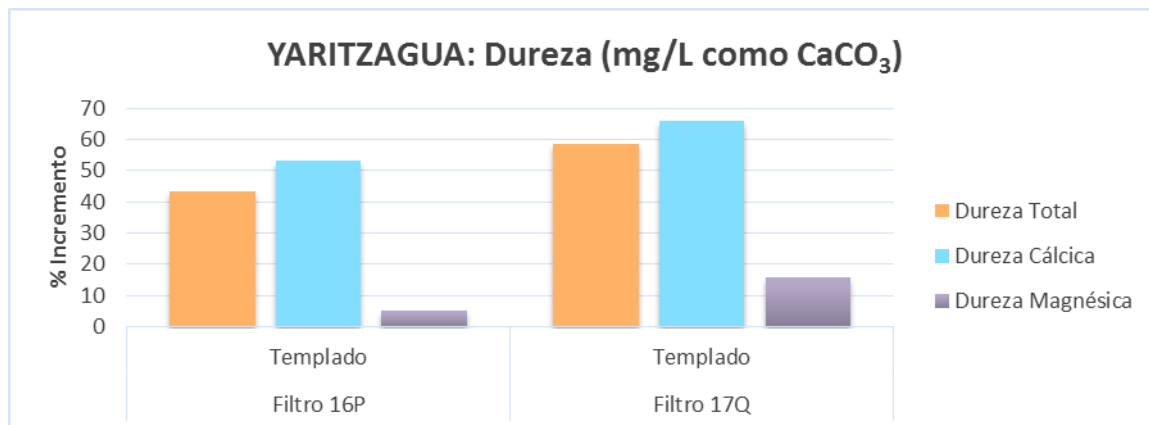
Gráfica 32. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 33. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 34. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 35. Comparación de dureza total, cálcica y magnésica entre los FBA, Yaritzagua.

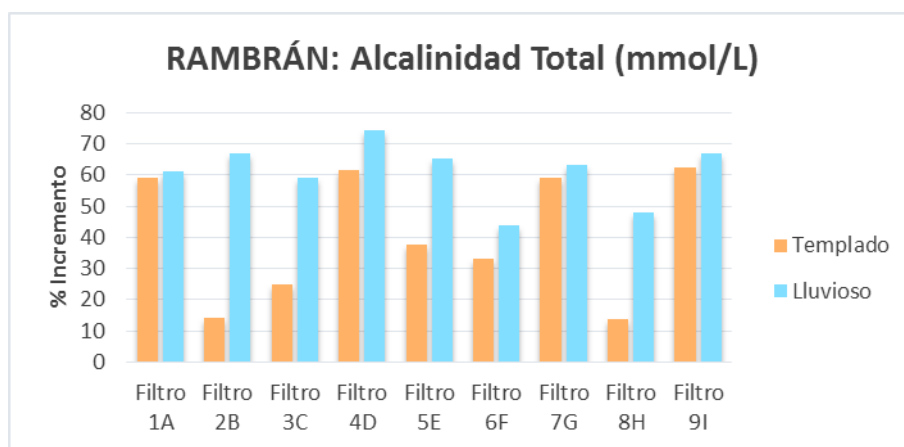
Los resultados de las gráficas muestran que los porcentajes de incremento de dureza total, cálcica y magnésica son menores en clima templado y mayores en lluvioso.

El estudio *“Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la Comunidad de Kuychiro-Cusco-2010”*, realizado por Barrientos Honorio, Tello Jonny y colaboradores, indica que el porcentaje de remoción de dureza total y cálcica es de 3% y 13,43% respectivamente. No hay datos sobre dureza magnésica. Al comparar con los resultados de este trabajo, no existe un porcentaje de remoción de dureza total, cálcica y magnésica, por el contrario hay de incremento (Tabla 9). La arena tiene en su composición carbonato de calcio y magnesio que influyen directamente en los parámetros mencionados anteriormente.

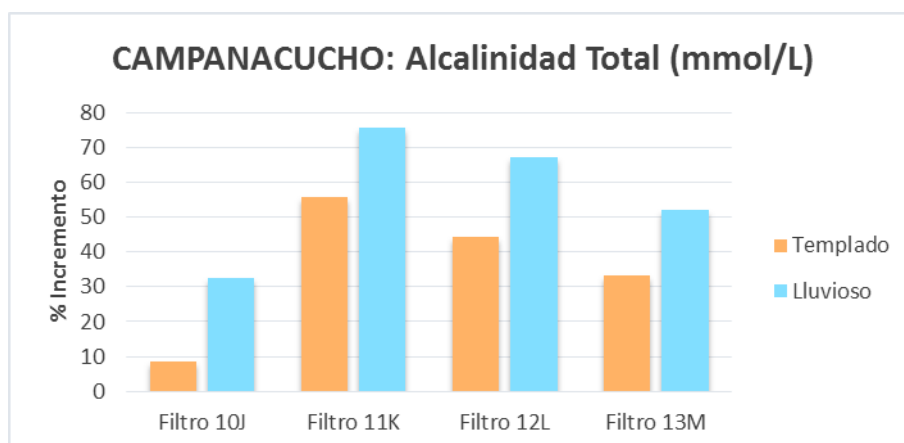
- **Alcalinidad total y compuesta**

Tabla 10. Resultados del porcentaje de incremento de alcalinidad total y compuesta en las comunidades.

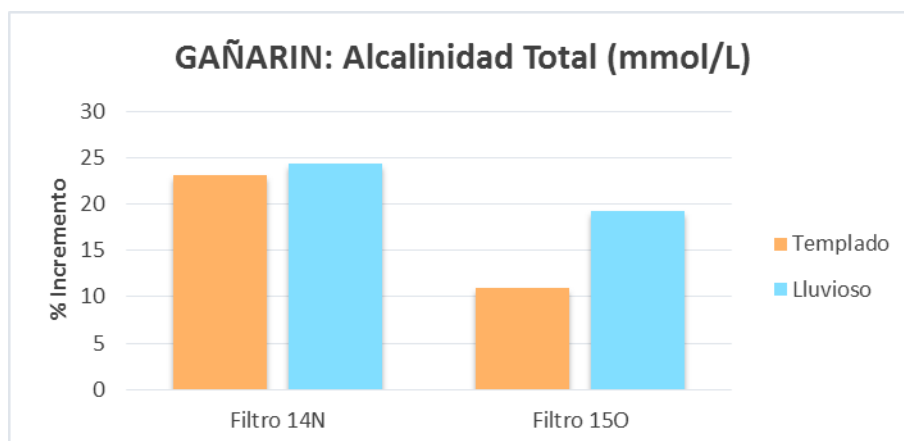
Comunidad	Alcalinidad total: % Incremento		Alcalinidad compuesta: % Incremento	
	Templado	Lluvioso	Templado	Lluvioso
Rambrán	40,67	61	0	0
Campanacucho	35,49	56,82	0	0
Gañarin	17,04	21,79	0	0
Yaritzagua	35,18	-	100	-



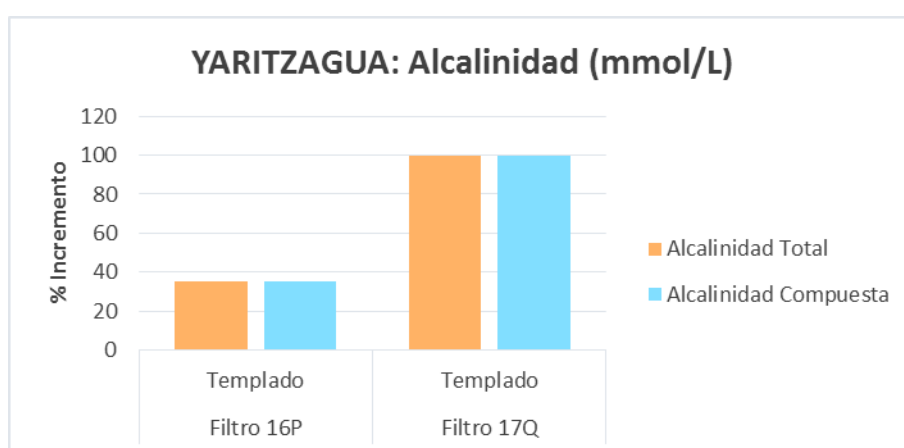
Gráfica 36. Comparación de alcalinidad total entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 37. Comparación de alcalinidad total entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 38. Comparación de alcalinidad total entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 39. Comparación de alcalinidad total y compuesta entre los FBA, Yaritzagua.

Las gráficas anteriores indican que los porcentajes de incremento de alcalinidad total y/o compuesta son menores en clima templado y mayores en lluvioso.

No existe un porcentaje de remoción de alcalinidad total y/o compuesta, por el contrario hay uno de incremento (Tabla 10). Se aprecia que hay una relación directa con el pH, por el carbonato de calcio que compone la arena. Entre mayor es el pH mayor es su alcalinidad. Nótese que únicamente en la comunidad de Yaritzagua existe un incremento en la alcalinidad compuesta; posiblemente por el recipiente de concreto que no se encontraba



impermeabilizado a diferencia de los demás; esto provoca el desprendimiento de sales de calcio que influyen en dicho parámetro.

De manera general, en el estudio de los parámetros físico – químicos se observa que hay un porcentaje de incremento más no de remoción. Esto se debe a la composición química y granulométrica de la arena. El Centro de Tecnologías Accesibles de Agua y Saneamiento (CAWST), establece que el mejor tipo de arena de filtración es la que viene de roca triturada, ya que hay menos posibilidad de que esté contaminada con patógenos u otro material orgánico; a más de que el tamaño de los gránulos de esta arena es menos uniforme que otros tipos, aspecto que contribuye de manera especial al proceso, ya que el filtro necesita de granos de diferentes tamaños para que funcione adecuadamente. (5)

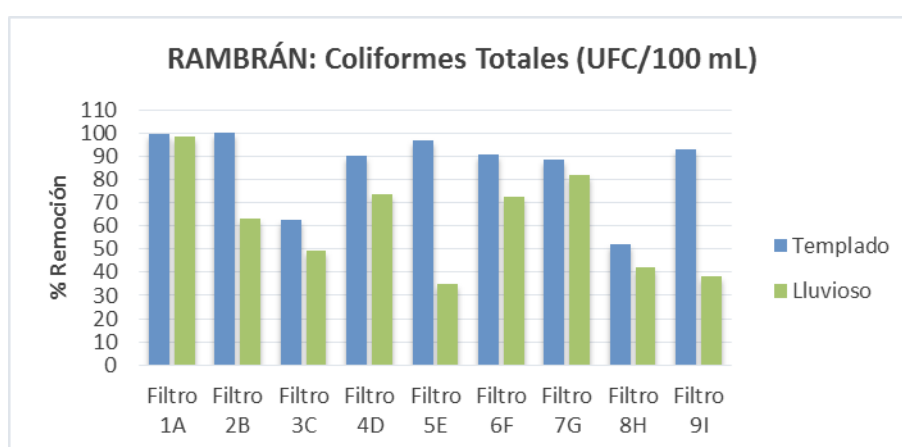
Según consultas a ejecutores del proyecto de vinculación que mantiene la Universidad de Cuenca con el GADM de Nabón y el Club Rotario Tomebamba “INSTALACIÓN DE BIOFILTROS DE ARENA EN COMUNIDADES DE LA PARROQUIA EL PROGRESO, CANTÓN NABÓN, PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA”; la arena empleada en los filtros procede de un río y el único tratamiento al que fue sometida es un lavado, que se cree fue deficiente. A más de ello, desde la instalación en los primeros meses de 2014, no se consideraron condiciones óptimas de funcionamiento tales como: la naturaleza del agua de entrada y su pre-tratamiento, el mantenimiento mediante un retrolavado de la arena, la ausencia de un contenedor limpio para almacenar el agua filtrada, la falta de apoyo prestado por los usuarios de los filtros y la ausencia de visitas de seguimiento para evaluar la funcionalidad del filtro.

3.2.2. Parámetros microbiológicos.

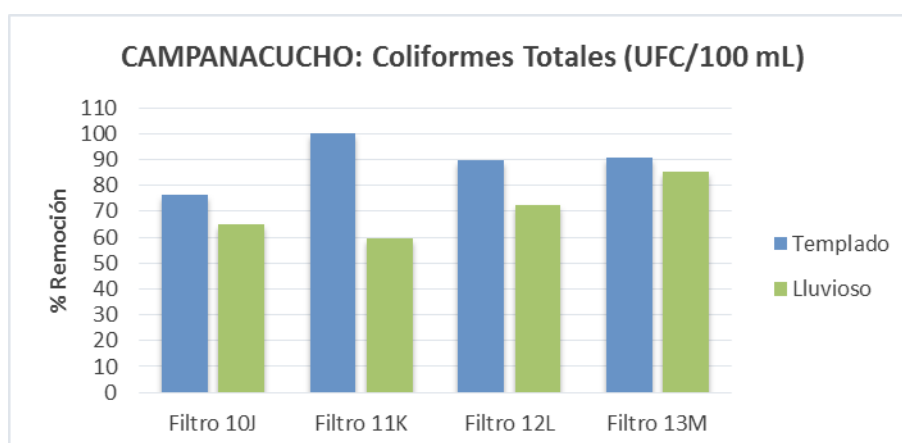
Se realizó la comparación del porcentaje de remoción de los parámetros microbiológicos entre los FBA pertenecientes a cada comunidad, en cada caso se consideró el clima en el cual fue tomada la muestra, sea lluvioso o templado; a excepción de Yaritzagua que únicamente fue templado.

Tabla 11. Resultados del porcentaje de remoción de coliformes totales en las comunidades.

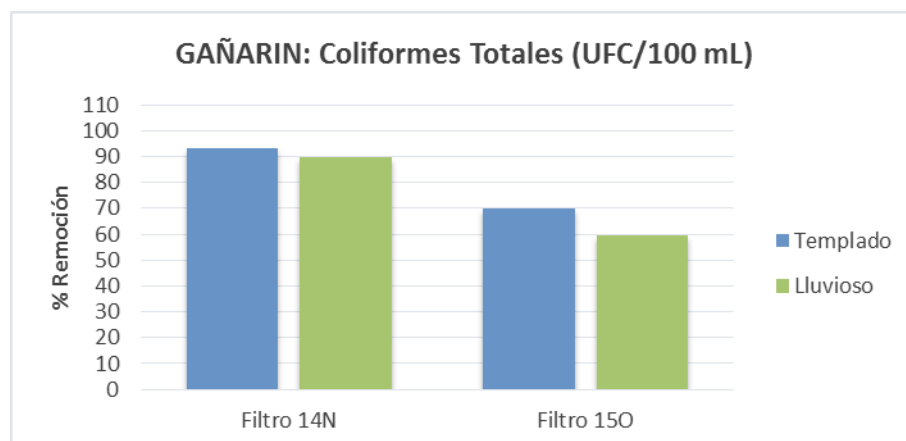
Comunidad	Coliformes totales: % Remoción	
	Templado	Lluvioso
Rambrán	86	61,68
Campanacucho	89,31	70,65
Gañarin	81,67	74,57
Yaritzagua	88,70	-



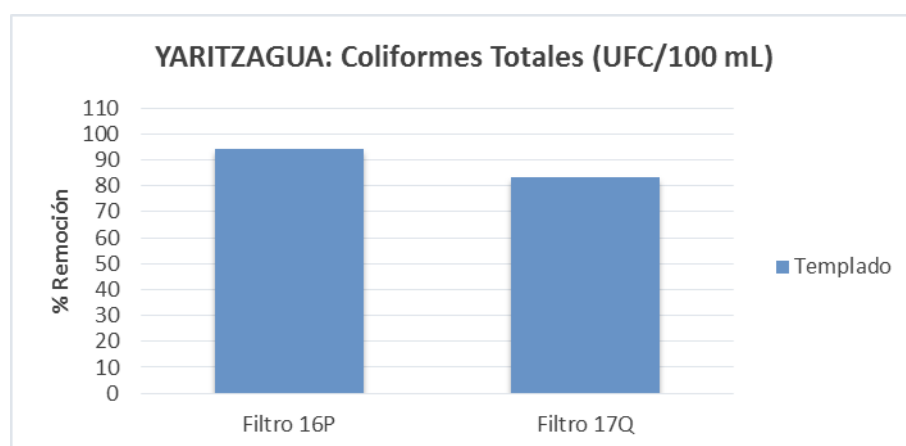
Gráfica 40. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 41. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Campanacucho.



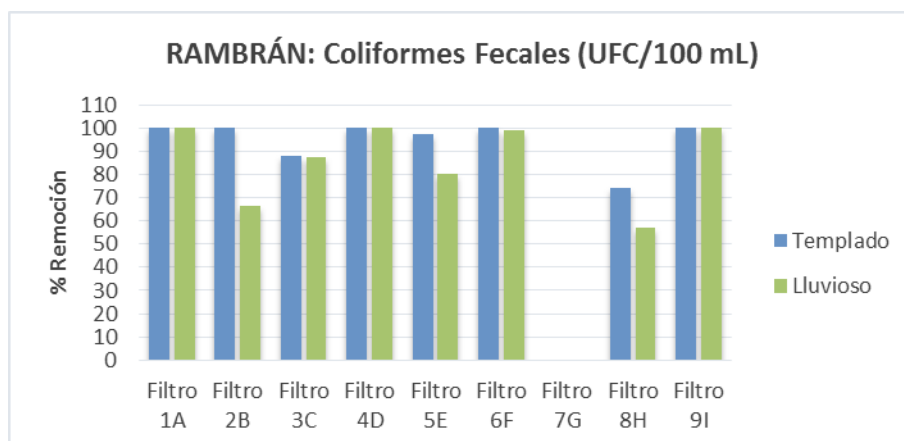
Gráfica 42. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Gañarín.



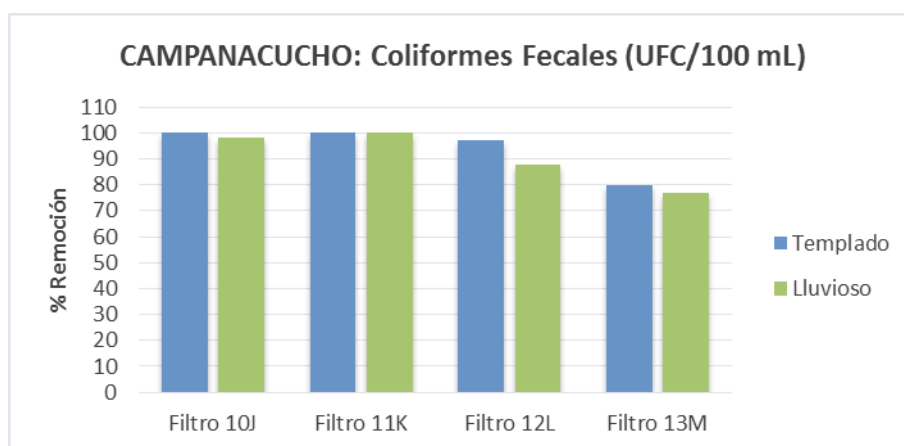
Gráfica 43. Comparación de coliformes totales entre los FBA, Yaritzagua.

Tabla 12. Resultados del porcentaje de remoción de coliformes fecales en las comunidades.

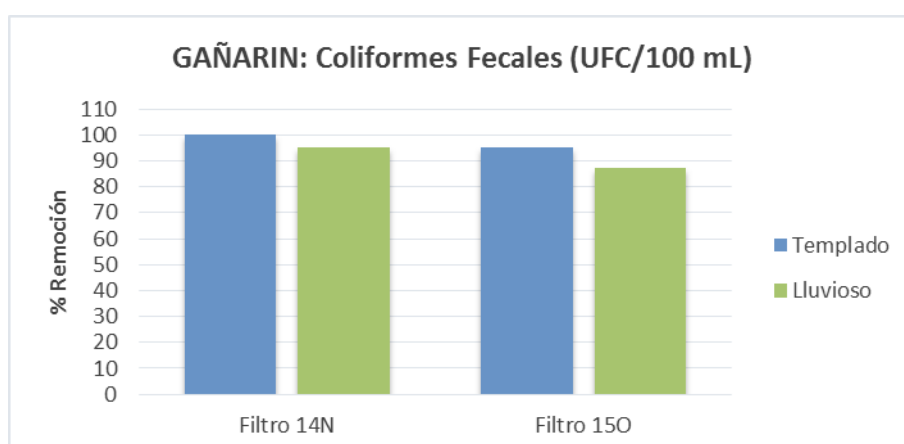
Comunidad	Coliformes fecales: % Remoción	
	Templado	Lluvioso
Rambrán	84,36	76,72
Campanacucho	94,25	90,63
Gañarín	97,50	91,16
Yaritzagua	100	-



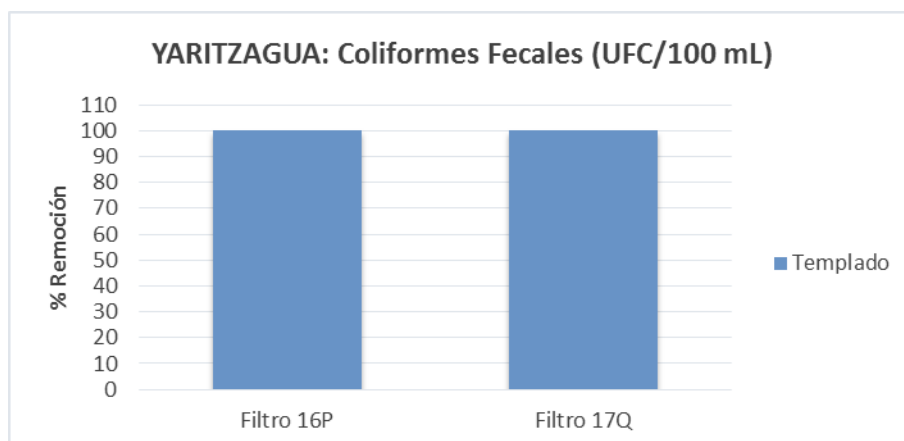
Gráfica 44. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Rambrán.



Gráfica 45. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Campanacucho.



Gráfica 46. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Gañarín.



Gráfica 47. Comparación de coliformes fecales entre los FBA, Yaritzagua.

Como se observa en las gráficas anteriores, los porcentajes de remoción de coliformes totales y fecales son mayores en clima templado y menores en lluvioso.

El estudio *“Filtración lenta con arena para el tratamiento de agua en comunidades rurales - Octubre 2009”*, realizado por Ramírez Leonardo, establece que el porcentaje de remoción de coliformes totales es de 88,1% y fecales 63,7%.

El estudio *“Purificación de agua por medio de filtros lentos de arena en la Comunidad de Kuychiro-Cusco-2010”*, realizado por Barrientos Honorio, Tello Jonny y colaboradores, señala que el porcentaje de remoción de coliformes totales es de 80,91% y fecales 67,39%.

El estudio *“Field Evaluation of Long-Term Performance and Use of Biosand Filters in Posoltega, Nicaragua - 2009”*, realizado por Vanderzwaag J.; Atwaker, J.; Bartlett, K. y Baker, D., demuestra que el porcentaje de remoción de coliformes totales es de 98% y fecales 96%.

El estudio *“Proyecto Semilla: Evaluación de sistemas de filtración agua de bajo costo para consumo humano - 2009”*, realizado por Jarrín Fernando, Ramos Pablo y Matamoros David de la Escuela Politécnica de Litoral (ESPOL), indica que el porcentaje de remoción de coliformes totales es de 74,6% y fecales 80,86%.



El estudio *“Evaluation of the Impact of Plastic BioSanf Filter on Healthand Drinking Water Quality in Rural Tamale, Ghana”*, realizado por Stauber, C.; Kominek, B.; Liang, K; y colaboradores, concluye que el porcentaje de remoción de coliformes fecales es de 97%.

El estudio *“Evaluation of Household BioSand Filters in Ethiopia – Agosto 2006”*, realizado por Earwaker Paul de la Universidad de Cranfield, establece que el porcentaje de remoción de coliformes fecales es de 87,9%.

Al comparar con los resultados de este trabajo, se aprecia que hay un alto porcentaje de remoción (Tabla 11, 12). Sin embargo, en este estudio hay mayor porcentaje de remoción de coliformes fecales que de totales, debido a la naturaleza del agua de entrada, pues en la mayoría de los análisis se observó una gran carga microbiana de coliformes totales en comparación con fecales.

3.3. Análisis estadístico de parámetros físico – químicos y microbiológicos entre las comunidades de Rambrán, Campanacucho, Gañarín y Yaritzagua

3.3.1. Resultados del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros físico – químicos.

Se realizó el análisis estadístico del porcentaje de incremento de los parámetros físico – químicos del total de los FBA domiciliarios analizados, en cada caso se consideró el clima en el cual fue tomada la muestra, sea lluvioso o templado.

A continuación se muestran los resultados obtenidos (Tabla 13, 14, 15 y 16).

Tabla 13. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros físicos en clima templado.

Parámetros Estadísticos	STD (mg/L)	Conductividad (μs/cm)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)
N Válidos	17	17	17	17
Perdidos	0	0	0	0
Media	40,12	36,24	43,11	25,09
Mediana	34,09	29,96	39,45	28,57
Desviación Estándar	23,39	22,27	27,46	18,17
Simetría	0,43	0,67	0,16	-0,14
Curtosis	-1,30	-0,62	-1,25	-1,25
Rango	68,15	71,08	88,99	50
Mínimo	12,6	9,17	2,03	0,00
Máximo	80,74	80,25	91,02	50

Tabla 14. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros físicos en clima lluvioso.

Parámetros Estadísticos	STD (mg/L)	Conductividad (μs/cm)	Turbiedad (NTU)	Color (UPC)
N Válidos	15	15	15	15
Perdidos	2	2	2	2
Media	53,82	49,66	58,15	36,96
Mediana	46,66	45,92	66,24	35
Desviación Estándar	22,85	22,30	24,35	19,35
Simetría	0,29	0,23	-0,39	1,27
Curtosis	-1,63	-1,29	-1,04	2,08
Rango	61,48	68,01	80,15	72,92
Mínimo	24,64	15,17	12,64	14,58
Máximo	86,12	83,18	92,79	87,50

De la información de la tabla 13 y 14 se desprende que en los 17 filtros estudiados, la mayoría de parámetros físicos tienen una gran relación y baja variabilidad de resultados descriptivos.

En relación a la tendencia central que presentan los porcentajes de incremento, se observa que hay un aumento en clima lluvioso en comparación con templado siendo el parámetro de color, el que menos incremento representa en todos los análisis; además se aprecia que en la totalidad de casos, la mitad de los porcentajes de incremento están por debajo del 34% aproximadamente, siendo menor en el caso de color que está por debajo del 28,57%.



Además la dispersión de los porcentajes de incremento es significativa, probablemente debido a la cantidad de características a considerar al momento de evaluar un filtro siendo los más importantes instalación y mantenimiento.

En cuanto a la distribución de los porcentajes de incremento de los parámetros físicos hay una ligera asimetría y una curtosis platicúrtica; es decir, no se comporta de manera normal sino que se aproxima a este tipo de distribución, siendo más notorio en el caso del parámetro de color.

Finalmente, el porcentaje de incremento en la totalidad de los filtros en el presente estudio no es mayor a 80,74%, 80,25%, 91,02% y 50% de sólidos totales disueltos, conductividad, turbiedad y color respectivamente, por lo cual se debe realizar un inmediato ajuste de materiales del FBA, un mayor tratamiento y una limpieza de manera constante.

Tabla 15. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros químicos en clima templado.

Parámetros Estadísticos		pH	Dureza total (mg/L)	Dureza cálcica (mg/L)	Dureza magnésica (mg/L)	Alcalinidad total (mmol/L)
N	Válidos	17	17	17	17	17
	Perdidos	0	0	0	0	0
Media		7,97	44,34	49,11	23,25	36,02
Mediana		7,32	43,77	53,16	15,88	35
Desviación Estándar		5,21	22,52	22,87	20,38	18,56
Simetría		0,75	-0,083	-0,44	1,50	0,07
Curtosis		-0,07	-1,09	-1,04	1,70	-1,29
Rango		18,26	71,72	73,59	69,52	53,80
Mínimo		0,58	7,16	5,72	3,07	8,70
Máximo		18,84	78,88	79,31	72,59	62,50

Tabla 16. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de incremento de parámetros químicos en clima lluvioso.

Parámetros Estadísticos		pH	Dureza total (mg/L)	Dureza cálcica (mg/L)	Dureza magnésica (mg/L)	Alcalinidad total (mmol/L)
N	Válidos	15	15	15	15	15
	Perdidos	2	2	2	2	2
Media		11,34	59,24	61,09	51,90	54,66
Mediana		11,58	65,10	65,76	51,49	61,25
Desviación Estándar		5,22	19,33	20,15	22,34	17,68
Simetría		0,60	-0,82	-0,70	-0,55	-0,90
Curtosis		0,14	-0,008	-0,37	0,05	-0,27
Rango		19,15	68,72	67,76	75,56	56,47
Mínimo		3,13	16,61	18,21	9,22	19,26
Máximo		22,28	85,33	85,97	84,78	75,73

De la información de la tabla 14 y 15 se desprende que en los 17 filtros estudiados, los parámetros químicos representan valores diferentes de porcentaje de incremento, siendo pH el parámetro que menor aumento indica.

En relación a la tendencia central que presentan los porcentajes de incremento, se observa que hay un aumento en clima lluvioso en comparación con templado siendo específicamente pH, el que menos incremento indica en todos los análisis y dureza total la que mayor aumento tiene.

Además la dispersión de los porcentajes de incremento es similar en los parámetros de alcalinidad, dureza total, dureza magnésica y dureza cálcica siendo mínima en el caso de pH, confirmando que un ligero aumento no puede llevar a cambios significativos de equilibrio ácido-base existente. En cuanto a la distribución de los porcentajes hay una ligera asimetría y una ligera curtosis platicúrtica principalmente en clima templado, no comportándose de manera normal, siendo más notorio en el caso del parámetro de dureza magnésica.

Finalmente, el incremento en la totalidad de los filtros en el presente estudio no es mayor a 18,84%, 78,88%, 79,31%, 72,59% y 62,50% de pH, dureza total, dureza cálcica, dureza magnésica y alcalinidad respectivamente, valores que al comparar con porcentajes de parámetros físicos son menores, e indicando un ajuste en la funcionalidad de los filtros.



3.3.2. Resultados del análisis estadísticos de los parámetros microbiológicos.

Tabla 17. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de remoción de parámetros microbiológicos en clima templado.

Parámetros Estadísticos	Coliformes Totales (UFC/100 mL)	Coliformes Fecales (UFC/100 mL)
N	17	17
Válido	0	0
Perdido	86,58	90,07
Media	90,75	100
Mediana	13,67	24,48
Desviación Estándar	-1,41	-3,50
Simetría	1,39	13,09
Curtosis	47,83	100
Rango	52,17	0,0
Mínimo	100	100
Máximo		

Tabla 18. Resultado del análisis estadístico del porcentaje de remoción de parámetros microbiológicos en clima lluvioso.

Parámetros Estadísticos	Coliformes Totales (UFC/100 mL)	Coliformes Fecales (UFC/100 mL)
N	15	15
Válido	2	2
Perdido	65,79	82,35
Media	64,97	87,73
Mediana	18,98	26,36
Desviación Estándar	-0,063	-2,46
Simetría	-0,79	6,94
Curtosis	63,32	100
Rango	35,24	0,00
Mínimo	98,56	100
Máximo		

De la información de la tabla 16 y 17 se desprende que en los 17 filtros estudiados los parámetros microbiológicos representan porcentajes de remoción elevados a diferencia de la ausencia de remoción de los parámetros físico – químicos, debido a la formación de la capa biológica.



En relación a la tendencia central que presentan los porcentajes de remoción, se observa que hay un aumento en clima templado en comparación con lluvioso siendo en específico coliformes fecales, el que mayor remoción indica en todos los análisis.

Además, la dispersión de los porcentajes de remoción es medianamente elevada, indicando una gran versatilidad de remoción entre los diferentes filtros. En cuanto a la distribución de los porcentajes hay asimetría y una curtosis leptocúrtica principalmente en coliformes fecales, no comportándose de manera normal.

Finalmente, el máximo porcentaje de remoción en la totalidad de los filtros en el presente estudio es de 100% y 98,56% para coliformes totales en clima templado y lluvioso respectivamente y de 100% para coliformes fecales tanto en clima templado como en lluvioso; relacionándose directamente con la contaminación bacteriológica de la muestra de entrada.



CONCLUSIONES

De la evaluación de los biofiltros de arena mediante el análisis de la calidad del agua en comunidades de la parroquia El Progreso, cantón Nabón; se establecen las siguientes conclusiones:

- El análisis físico – químico realizado a los filtros de bioarena demuestra que la mayoría de agua tratada mediante esta unidad de filtración no cumple con tres parámetros de calidad como son turbiedad, color y alcalinidad total, en tanto que se cumplen los demás parámetros físico – químicos establecidos en la NTE INEN 1108:2014.
- El análisis microbiológico realizado a los filtros de bioarena demuestra que en el agua tratada mediante esta unidad de filtración hay presencia de coliformes totales y fecales, por tanto no se cumple con los parámetros microbiológicos de ausencia establecidos en la NTE INEN 1108:2014.
- El elevado nivel de coliformes totales y fecales, al igual que el de turbiedad, color y alcalinidad total en el agua de salida de los filtros de bioarena, limita considerablemente sus usos y un posible rechazo por el consumidor.
- La eficiencia de los filtros de bioarena es dependiente de la calidad del agua de entrada, debido a que el filtro no se acostumbra inmediatamente a cambios en las concentraciones de los distintos parámetros. Si las aguas provienen de época templada, los porcentajes de incremento de los parámetros físico – químicos son menores en comparación con los de la época lluviosa; por el contrario los porcentajes de remoción de los parámetros microbiológicos son mayores en aguas de época templada que de lluviosa.



- El análisis físico – químico de los filtros de bioarena demuestra que en época templada y lluviosa respectivamente, el porcentaje de incremento de los parámetros es 7,97% y 11,34% para pH; 40,12% y 53,82% para sólidos totales disueltos; 36,24% y 49,66% para conductividad; 43,11% y 58,15% para turbiedad; 25,09% y 36,96% para color; 44,34% y 59,24% para dureza total; 49,11% y 61,09% para dureza cálcica; 23,25% y 51,90% para dureza magnésica, y 36,02% y 54,66 para alcalinidad total.
- El análisis microbiológico de los filtros de bioarena demuestra que en época templada y lluviosa respectivamente, el porcentaje de remoción de coliformes totales es de 86,58% y 65,79%; y de coliformes fecales (*E. coli*) es de 90,07% y 82,35%. Los filtros evaluados no logran remover >97% de *E. coli* como se establece en el Manual del Filtro Bioarena del CAWST 2008; sin embargo, se evidencia un alto porcentaje de remoción.
- Los filtros de bioarena son eficientes frente a parámetros microbiológicos de calidad de agua, por el contrario, no lo son frente a parámetros físico – químicos, debido a la incorrecta limpieza y desinfección de la arena utilizada como medio filtrante y a las características de calidad del agua de entrada.



RECOMENDACIONES

En virtud del estudio realizado se recomienda:

- Usar una buena fuente de agua y lo menos contaminada posible, de manera que la capa biológica ya formada no tenga que sufrir nuevas adaptaciones al nivel de contaminación, y se mejore la eficiencia del filtro.
- Realizar un pre-tratamiento al agua de entrada, se recomienda la sedimentación previa su utilización en los filtros de bioarena.
- Desinfectar el agua filtrada, de preferencia mediante la cloración o hervido. También se recomienda la desinfección solar (SODIS).
- Usar arena de cantera o la obtenida a través de un proceso de triturado de la roca, de modo que sus propiedades granulométricas sean buenas. No se recomienda el uso de arena de río, debido a su grado de contaminación.
- Realizar un mantenimiento y limpieza periódica, mediante un mecanismo de “revolver y botar” la arena, de modo que la velocidad de flujo del agua que pasa a través del filtro no sea baja.
- Brindar información y posibles capacitaciones a los beneficiarios de los filtros por parte del personal técnico del Club Rotario Tomebamba, Universidad de Cuenca o GAMD de Nabón.
- Cuidar las fuentes de agua y su vulnerabilidad por parte del GAMD de Nabón.
- Hacer visitas de seguimiento a los usuarios para asegurar que la operación y el mantenimiento del filtro sea de manera adecuada.
- Realizar un estudio e investigación de los filtros de bioarena, con el objeto de mejorar su diseño, manejo y operaciones de mantenimiento.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Realizar un estudio del índice de enfermedades gastrointestinales o parasitismo a los beneficiarios de los filtros, relacionada a la calidad del agua que se obtiene de los mismos.



BIBLIOGRAFÍA

1. CAWST, Centro de Tecnologías Accesibles de Agua y Saneamiento. *MANUAL DEL FILTRO BIOARENA. Diseño, construcción, instalación, operación y mantenimiento*. Calgary : CAWST, 2008.
2. *La biofiltración, una alternativa para la potabilización del agua*. Arango Ruiz, Álvaro. 2, Antioquia : Corporación Universitaria Lasallista, 2004, Revista Lasallista de Investigación, Vol. I, págs. 61-66. ISSN: 1794-4449.
3. Martín Garzón, Laura Mercedes. DISEÑO DE UNA GUÍA PARA LA ELABORACIÓN DE FILTROS LENTOS DE POTABILIZACIÓN DEL AGUA. *Universidad Libre*. [En línea] Junio de 2011. [Citado el: 30 de Marzo de 2015.]
<http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/10901/3922/1/MartinGarzonLauraMercedes2011.pdf>.
4. CAWST, Centro de Tecnologías Accesibles de Agua y Saneamiento. *FILTRO DE BIOARENA PARA TÉCNICOS. MANUAL DEL PARTICIPANTE DE CAWST*. Calgary : CAWST, 2012.
5. CAWST, Centro de Tecnologías Accesibles de Agua y Saneamiento. *MANUAL PARA EL FILTRO DE BIOARENA. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, INSTALACIÓN, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO*. Calgary : CAWST, 2009.
6. Huisman, L. y Wood, W.E. *SLOW SAND FILTRATION*. Ginebra : World Health Organization, 1974. ISBN: 9241540370.
7. Aqueous Solutions. La Construcción de un Sistema de Tratamiento de Agua Portátil Usando Materiales Locales. *www.aqsolutions.org*. [En línea] Marzo de 2013. [Citado el: 31 de Marzo de 2015.]
<http://www.aqsolutions.org/images/2013/03/portable-water-system-handbook-spanish.pdf>.



8. Aguilar Hernández, Daniel Fernando y Portela Cuevas, Willian. *Diseño y montaje del laboratorio de filtro lento de arena para agua potable*. Girardot : Corporación Universitaria Minuto de Dios, 2009.
9. Varo Galvan, Pedro y Segura Beneyto, Manuel. *Curso de manipuladores de agua de uso potable*. San Vicente : Universidad de Alicante, 2009. ISBN: 978-84-9717-053-6.
10. Bueno, Julio L, Sastre, Herminio y Lavín, Antonio. *Contaminación e Ingeniería Ambiental*. Oviedo : FICYT, 1997. Vol. III. ISBN: 84-923131-2-9.
11. Severiche Sierra, Carlos Alberto, Castillo Bertel, Marlon Enrique y Acevedo Barros, Rosa Leonor. *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos básicos en Agua*. Cartagena de Indias : Fundación Univeritaria Andaluza Inca Garcilaso, 2013. ISBN: 978-84-15774-90-7.
12. Contreras López, Alfonso y Molero Meneses, Mariano. *Ciencia y Tecnología del Ambiente*. Madrid : UNED, 2012. ISBN: 978-84-362-6328-2.
13. APHA, AWWA y WPCF. *Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. Vigésima primera. Madrid : Diaz de Santos, 2005. ISBN: 84-7978-031-2.
14. Heinke, Gary W y Glynn, Henry. *Ingeniería Ambiental*. México : Pearson Educación, 1999. ISBN: 9701702662.
15. Marín, Rafael. *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos*. Madrid : Díaz de Santos, 2003. ISBN: 89-7978-590-X.
16. Aguinaga, Silvia. MANUAL DE PROCEDIMIENTOS ANALÍTICOS PARA AGUA Y EFLUENTES. [En línea] 1996. [Citado el: 30 de Marzo de 2015.] http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/docs/pdfs/manual_dinama.pdf.
17. Mora Alvarado, Darner. *Agua*. San José : EUNED, 2009. ISBN: 978-9968-31-736-8.



18. López Fernandez, Pablo. *Fontanería y uso adecuado del agua*. Buenos Aires : Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, 2013. ISBN: 978-84-369-5536-1.
19. Osorio Robles, Francisco, Torres Rojo, Juan Carlos y Sanches Bas, Mercedes. *TRATAMIENTO DE AGUAS PARA LA ELIMINACIÓN DE MICROORGANISMOS Y AGENTES CONTAMINANTES*. Madrid : Díaz de Santos, 2010. ISBN:978-84-7978-903-9.
20. Headquarters, HACH Company Word. *MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUA*. Lovelan : HACH Company, 2000.
21. Romero Rojas, Jairo Alberto. *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. Bogota : Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002. ISBN: 958-8060-13-3.
22. HACH. *Medidores portatiles de la serie MP*. EEUU : HACH Company, 2009.
23. Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Agua potable. Determinación de color. NTE INEN 970*. Quito : INEN, 1983.
24. Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Agua. Determinación de calcio. Método EDTA. NTE INEN 1107*. Quito : INEN, 2013.
25. Instituto Ecuatoriano de Normalización. *Calidad del agua. Determinación de la alcalinidad. NTE INEN-ISO 9963-1*. Quito : INEN, 2014.
26. Company, HACH. *MANUAL DE ANÁLISIS DE AGUA*. Segunda. Loveland : s.n., 2000.
27. Instituto de Salud Pública de Chile. *MÉTODO DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA PARA DETERMINACIÓN DE COLIFORMES Y E. coli EN AGUA*. [En línea] 31 de Agosto de 2010. [Citado el: 31 de Marzo de 2015.] http://www.ispch.cl/sites/default/files/documento_tecnico/2010/10/PRT-712.03-009%20V%206%20filtrac%20memb%20colif-E.coli%20agua.pdf.
28. Paez Sanabria, Lilian. Pontificia Universidad Javeriana. *VALIDACIÓN SECUNDARIA DEL MÉTODO DE FILTRACIÓN POR MEMBRANA PARA LA DETECCIÓN DE COLIFORMES TOTALES Y Escherichia coli EN MUESTRAS DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO ANALIZADAS EN EL*



LABORATORIO DE SALUD PÚBLICA DE HUILA. [En línea] Noviembre de 2008. [Citado el: 31 de Marzo de 2015.] <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis221.pdf>.

29. Bordner, Robert y Winter, Jhon. *Microbiological Methods for Monitoring the Environment. Water and Waster*. Ohio : Universidad de Cincinnati, 1978.
30. Arenillas, Arturo. PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS ARENAS. *Baker Instituto de Bingley* 1990. [En línea] 1990. [Citado el: 20 de Abril de 2015.] http://www.aegreenkeepers.com/descargas/Articulos_tecnicos/Propiedades_quimicas_de_las_arenas.pdf.



ANEXOS

Anexo A: Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108:2014.



Quito – Ecuador

**NORMA
TÉCNICA
ECUATORIANA**

NTE INEN 1108
Quinta revisión
2014-01

AGUA POTABLE. REQUISITOS

DRINKING WATER. REQUIREMENTS

Correspondencia:

Esta Norma Técnica Ecuatoriana es una adaptación de las Guías para la calidad del agua potable de la OMS, 4ta. Ed, 2011.

DESCRIPTORES: Protección ambiental y sanitaria, seguridad, calidad del agua, agua potable, requisitos.
ICS: 13.060.20

10 Páginas



Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	AGUA POTABLE REQUISITOS	NTE INEN 1108:2014 Quinta revisión 2014-01
---	------------------------------------	---

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

2. CAMPO DE APLICACIÓN

2.1 Esta norma se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

3. REFERENCIAS NORMATIVAS

APHA (American Public Health Association), AWWA (American Water World Association) y WEF (Water Environment Federation). *Métodos Estandarizados para el Análisis de Aguas y Aguas Residuales* (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) en su última edición.

Ministerio de salud Pública *REGLAMENTO DE BUENAS PRÁCTICAS DE MANUFACTURA PARA ALIMENTOS PROCESADOS* Decreto Ejecutivo 3253, Registro Oficial 696 de 4 de Noviembre del 2002

4. DEFINICIONES

4.1 Para efectos de esta norma se adoptan las siguientes definiciones:

4.1.1 Agua potable. Es el agua cuyas características físicas, químicas microbiológicas han sido tratadas a fin de garantizar su aptitud para consumo humano.

4.1.2 Agua cruda. Es el agua que se encuentra en la naturaleza y que no ha recibido ningún tratamiento para modificar sus características: físicas, químicas o microbiológicas.

4.1.3 Límite máximo permitido. Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números, (ver NTE INEN 052).

4.1.4 ufc/ml. Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias.

4.1.5 NMP. Forma de expresión de parámetros microbiológicos, número más probable, cuando se aplica la técnica de los tubos múltiples.

4.1.6 mg/l. (miligramos por litro), unidades de concentración de parámetros físico químicos.

4.1.7 Microorganismo patógeno. Son los causantes potenciales de enfermedades para el ser humano.

4.1.8 Plaguicidas. Sustancia química o biológica que se utiliza, sola, combinada o mezclada para prevenir, combatir o destruir, repeler o mitigar: insectos, hongos, bacterias, nemátodos, ácaros, moluscos, roedores, malas hierbas o cualquier forma de vida que cause perjuicios directos o indirectos a los cultivos agrícolas, productos vegetales y plantas en general.



4.1.9 Desinfección. Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad que pueden presentar los agentes microbianos patógenos, constituye una medida preventiva esencial para la salud pública.

4.1.10 Subproductos de desinfección. Productos que se generan al aplicar el desinfectante al agua, especialmente en presencia de sustancias húmicas.

4.1.11 Cloro residual. Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto.

4.1.12 Sistema de abastecimiento de agua potable. El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución.

4.1.13 Sistema de distribución. Comprende las obras y trabajos auxiliares construidos desde la salida de la planta de tratamiento hasta la acometida domiciliaria.

5. REQUISITOS

5.1 Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública.

5.2 El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación, en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6 y 7.

TABLA 1. Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

PARAMETRO	UNIDAD	Limite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO ₃ ⁻	mg/l	50
Nitritos, NO ₂ ⁻	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total α *	Bq/l	0,5
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04

¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos
 * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰Po, ²²⁴Ra, ²²⁶Ra, ²³²Th, ²³⁴U, ²³⁸U, ²³⁹Pu
 ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰Co, ⁸⁶Sr, ⁹⁰Sr, ¹²⁹I, ¹³¹I, ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ²¹⁰Pb, ²²⁸Ra

TABLA 2. Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP		
Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos:		
Benceno	mg/l	0,01
Tolueno	mg/l	0,7
Xileno	mg/l	0,5
Estireno	mg/l	0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epiclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Acido Nitrilotriacético	mg/l	0,2

TABLA 3. Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s-triazina	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02
Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

TABLA 4. Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Monocloramina,	mg/l	3
Si pasa de 1,5 mg/l investigar: N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

TABLA 5. Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
• Bromodichlorometano	mg/l	0,3
• Cloroformo	mg/l	0,3
Tricloroacetato	mg/l	0,2

TABLA 6. Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

5.3 El agua potable debe cumplir con los siguientes requisitos microbiológicos.

TABLA 7. Requisitos Microbiológicos

	Máximo
Coliformes fecales (1):	
Tubos múltiples NMP/100 ml ó	< 1,1 *
Filtración por membrana ufc/ 100 ml	< 1 **
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm ³ ó 10 tubos de 10 cm ³ ninguno es positivo	
** < 1 significa que no se observan colonias	
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida	

6. INSPECCIÓN

6.1 Muestreo

6.1.1 El muestreo para el análisis microbiológico, físico, químico debe realizarse de acuerdo a los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).

6.1.2 El manejo y conservación de las muestras para la realización de los análisis debe realizarse de acuerdo con lo establecido en los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods).



7. MÉTODOS DE ENSAYO

7.1 Los métodos de ensayo utilizados para los análisis que se especifican en esta norma serán los métodos estandarizados para el agua potable y residual (Standard Methods) especificados en su última edición. En caso que no conste el método de análisis para un parámetro en el Standard Methods, se utilizará un método estandarizado propuesto por un organismo reconocido.



APÉNDICE Y
(Informativo)

Y.1 Número mínimo de muestras a tomarse de acuerdo a la población servida para el análisis de coliformes fecales en el sistema de distribución de agua potable

Tabla Y.1

POBLACIÓN	NÚMERO TOTAL DE MUESTRAS POR AÑO
< 5 000	12
5 000 – 100 000	12 POR CADA 5 000 PERSONAS
> 100 000 – 500 000	120 MÁS 12 POR CADA 10 000 PERSONAS
> 500 000	600 MÁS 12 POR CADA 100 000 PERSONAS

Guías para la calidad del agua potable 4ta. Ed. 2011; Capítulo 4 numeral 4.3.1 tabla 4.4



APÉNDICE Z

BIBLIOGRAFÍA

World Health Organization. *Guidelines for Drinking-water Quality*, Fourth Edition. World Health Organization, 2011



Anexo B: Certificados de realización de la parte práctica.

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL NABÓN
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA**

Nabón, 01 de abril de 2015

Yo, Ing. Lenin Regalado, Jefe del Departamento de Agua Potable y Saneamiento del
GADM Nabón:

CERTIFICO

Que las señoritas Diana Carolina Morales Jadán, con cédula de identidad 010656877-7 y
María Paz Moscoso Romo, con cédula de identidad 030180404-3, estudiantes egresadas
de la Carrera de Bioquímica y Farmacia, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de
Cuenca, realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Aguas del GAMD de Nabón la
parte práctica de la tesis titulada **"EVALUACIÓN DE LOS BIOFILTROS DE ARENA
MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES DE LA
PARROQUIA EL PROGRESO, CANTÓN NABÓN"** durante el mes de marzo del
presente, cumpliendo satisfactoriamente los objetivos planteados.

Es todo cuanto puedo indicar en honor a la verdad, autorizo a las peticionarias hacer uso
de este documento en lo que creyeren conveniente.

Ing. Lenin Regalado

JEFE DE DEPARTAMENTO DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO.



MUNICIPIO DE NABÓN
LABORATORIO DE CONTROL DE
CALIDAD DE AGUA POTABLE
NABÓN - AZUAY - ECUADOR



UNIVERSIDAD DE CUENCA

**GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL NABÓN
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE AGUA**

Nabón, 01 de abril de 2015

Yo, Ing. Damián Peralta Mendiá, Responsable del Laboratorio de Agua Potable del GADM Nabón:

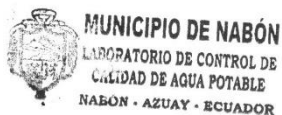
CERTIFICO

Que las señoritas Diana Carolina Morales Jadán, con cédula de identidad 010656877-7 y María Paz Moscoso Romo, con cédula de identidad 030180404-3, estudiantes egresadas de la Carrera de Bioquímica y Farmacia, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Cuenca, realizaron en las instalaciones del Laboratorio de Aguas del GADM de Nabón la parte práctica de la tesis titulada **"EVALUACIÓN DE LOS BIOFILTROS DE ARENA MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA EN COMUNIDADES DE LA PARROQUIA EL PROGRESO, CANTÓN NABÓN"** durante el mes de marzo del presente, cumpliendo satisfactoriamente los objetivos planteados.

Es todo cuanto puedo indicar en honor a la verdad, autorizo a las peticionarias hacer uso de este documento en lo que creyeran conveniente.

Ing. Damián Peralta

RESPONSABLE DEL LABORATORIO DEL GADM NABÓN



Anexo C: Comunidades de la parroquia El Progreso, Nabón.



Figura 14. Comunidad Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón.

(Fuente: Las Autoras)



Figura 15. Comunidad Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón.

(Fuente: Las Autoras)



Figura 16. Comunidad Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón.

(Fuente: Las Autoras)















Figura 17. Comunidad Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón.

(Fuente: Las Autoras)

Anexo D: Fuentes de agua y filtros de bioarena.

Tabla 19. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón.

FILTRO	USUARIO	FUENTE DE AGUA CRUDA	FILTRO DE BIOARENA
1 A	Flia. Guasha		
2 B	Flia. Coronel		
3 C	Flia. Campoverde		

4 D	Flia. Morocho		
5 E	Flia. Campoverde		
6 F	Flia. Flores		










7 G	Centro Comunitario		
8 H	Flia. Quezada		
9 I	Flia. Godoy		

Tabla 20. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad de Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón.

FILTRO	USUARIO	FUENTE DE AGUA CRUDA	FILTRO DE BIOARENA
10 J	Flia. Iñaguazo		
11 K	Flia. Coello		
12 L	Flia. Vázquez		

13 M	Flia. Maxi		
------	------------	---	---

Tabla 21. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad de Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón.

FILTRO	USUARIO	FUENTE DE AGUA CRUDA	FILTRO DE BIOARENA
14 N	Flia. Musha		
15 O	Flia. Musha		

Tabla 22. Fuentes de agua y filtros de bioarena, comunidad de Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón.

FILTRO	USUARIO	FUENTE DE AGUA CRUDA	FILTRO DE BIOARENA
16 P	Escuela Pública		
17 Q	Flia. Campoverde		



Anexo E: Preparación de reactivos.

DUREZA TOTAL

- **Solución Inhibidora:** Pesar 3,7 g de sulfuro de sodio pentahidratado $\text{Na}_2\text{S} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ y disolver en agua destilada hasta completar 100 mL.
- **Solución Tampón:** Disolver 1,179 g de la sal disódica del EDTA y 0,644 g de cloruro de magnesio hexahidratado $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 50 mL de agua destilada; adicionar 16,9 g de cloruro de amonio NH_4Cl y 143 mL de hidróxido de amonio concentrado NH_4OH , mezclar y llevarlo a 250 mL con agua destilada.
- **Eriocromo negro T:** Ácido I – (1 hidróxido – 2 naftilazo) – 5 nitro – 2 naftol – 4 sulfónico. Mezclar en un mortero 0,5 g de Eriocromo negro T con 100 g de cloruro de sodio NaCl .
- **EDTA 0,01 M:** Pesar 3,72296 g de la sal disódica del EDTA y llevarlo a 1000 mL con agua destilada. Valorar con una solución patrón de carbonato de calcio CaCO_3 .
- **Solución patrón de carbonado de calcio:** Pesar 1,000 g de carbonato de calcio anhidro CaCO_3 , disolverlo con ácido clorhídrico HCl (1 +1). Añadir 200 mL de agua destilada y hervir unos minutos para eliminar el CO_2 . Enfriar y añadir unas gotas de rojo de metilo, ajustar al color anaranjado por adición de HCl (1 + 1). Transferir a un balón volumétrico de 1000 mL y aforar con agua destilada. Esta solución patrón contiene 1,00 mg CaCO_3 /1,00 mL.

DUREZA CÁLCICA

- **Hidróxido de sodio 1 N:** Pesar 10,0 g de hidróxido de sodio NaOH y llevarlo a 250 mL con agua destilada.
- **Murexida:** Sal común del ácido purpúrico. Mezclar en un mortero 0,2 g de murexida con 100 g de cloruro de sodio NaCl .
- **EDTA 0,01 M:** Pesar 3,72296 g de la sal disódica del EDTA y llevarlo a 1000 mL con agua destilada. Valorar con una solución patrón de carbonato de calcio CaCO_3 .

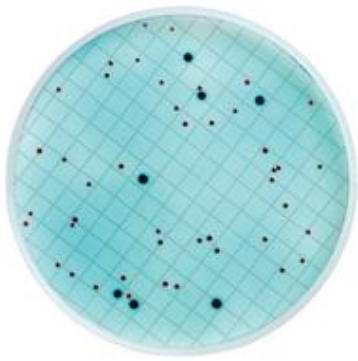


ALCALINIDAD

- **Solución patrón de carbonato de sodio:** Aproximadamente 0,025 M. Secar de 3 a 5 g de carbonato de sodio (Na_2CO_3) a 250 °C durante 4 horas. Enfriar en el desecador. Disolver 2,65 g en agua y diluir en matraz aforado hasta 1000 mL.
- **Ácido clorhídrico 0,1 M:** Diluir 9,0 mL de ácido clorhídrico HCl con agua hasta 1000 mL. Valorar con una solución patrón de carbonato de sodio Na_2CO_3 .
- **Ácido clorhídrico 0,02 M:** Diluir 1,8 mL de ácido clorhídrico HCl con agua hasta 1000 mL. Valorar con una solución patrón de carbonato de sodio Na_2CO_3 .
- **Solución del indicador de la fenolftaleína:** Disolver 0,1 g de fenolftaleína en 100 mL de etanol [$> 90\%$ (V/V) etanol].
- **Solución indicadora mixta de verde de bromocresol – rojo de metilo:** Disolver 0,2 g de verde de bromocresol y 0,015 g de rojo de metilo en 100 mL de etanol [$> 90\%$ (V/V) etanol].



Anexo F: Ficha técnica del Caldo m-ColiBlue24®.

M00PMCB24 m-ColiBlue24® Broth	
Descripción	
Número de catálogo	M00PMCB24
Descripción	Caldo m-ColiBlue24®
Información del producto	
Dispositivo aplicable	<ul style="list-style-type: none"> • MicropureSure • Método MF • Microfil • Milliflex
Tipo de ensayo	Límites microbiológicos. Carga biológica.
Aplicaciones	
Aplicación	Para el análisis del agua potable y el agua ambiental. Detección de coliformes totales de <i>E. coli</i> .
Aplicaciones claves	<ul style="list-style-type: none"> • Vino • Cerveza • Agua embotellada • Sidra • Laboratorio clínico • Cosméticos • Análisis medioambientales • Alimentos y bebidas • CC industrial • Filtración de laboratorio • Refrescos • Bebidas para deportistas • Análisis y control del agua
	
Información biológica	
Aspecto del microorganismo	Las coliformes totales forman colonias rojas. <i>E. coli</i> forma colonias azules.
Medio de agar prellenado	m-ColiBlue
Organismos de control de calidad	<ul style="list-style-type: none"> • <i>P. aeruginosa</i> (ATCC 27853) • <i>E. Cloacae</i> (ATCC 23355) • <i>E. Coli</i> (ATCC 25922) • <i>K. pneumoniae</i> (ATCC 13883)
Microorganismos seleccionados	Coliformes totales y <i>E. coli</i> .
Temperatura de incubación (°C)	35 ± 0,5
Tiempo de incubación (h)	24
Forma de los medios	Líquido
Información de almacenamiento y transporte	
Temperatura de almacenamiento (°C)	2 – 8
Periodo de validez (meses)	12
Información sobre embalaje	
Número de ensayos por envase	50
Cantidad	50
Envase	Ampollas de plástico de 2 mL
Información fisicoquímica	
pH a 25 °C	7,0 ± 0,2
Dimensiones	
Volumen (ml)	2
Declaraciones de uso del producto	
Uso del producto	Compatible con Almohadillas Absorbentes EO esterilizadas según el ítem AP10047E0 o Milliflex® Liquid Media Cassette. No utilice elementos Millipore esterilizados con radiación Gamma.
Certificado incluido (S/N)	Y
Cumplimiento de las normas	Aprobado por la EPA.

Anexo G: Crecimiento de coliformes totales y fecales en Caldo m-ColiBlue24®.

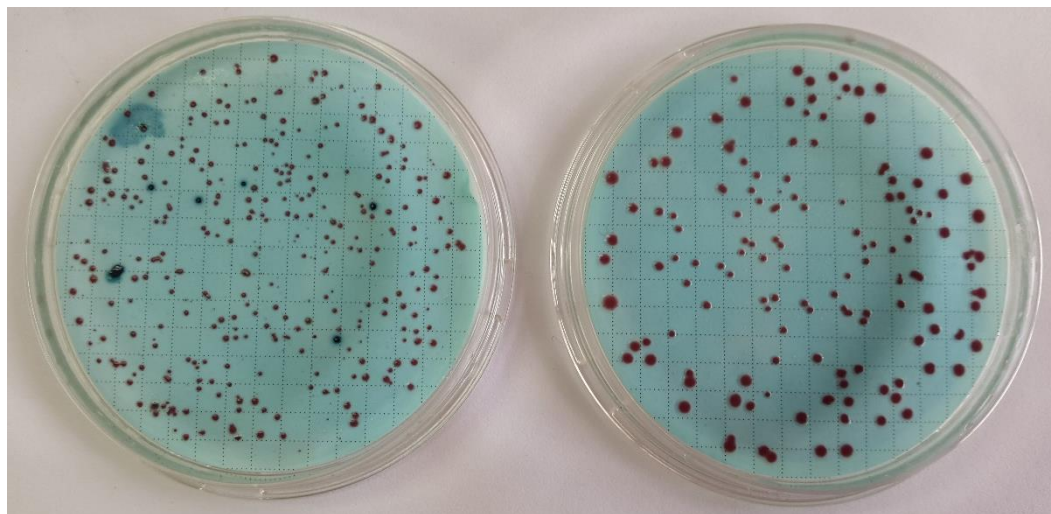


Figura 18. Crecimiento de coliformes totales y fecales en Caldo m-ColiBlue24®
Izquierda: Agua de entrada. Derecha: Agua de salida.

(Fuente: Las Autoras)



Anexo H: Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena.

Tabla 23. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	pH	T °C	STD mg/L	Conductividad µs/cm	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Dureza Total mg/L CaCO ₃	Dureza Ca ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Dureza Mg ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Alc. Total mmol/L	Alc. Comp. mmol/L
1 A	RA001	Entrada	9/03/15	T	7,60	20,4	8,10	16,26	0,22	5	18,70	16,50	2,20	0,78	0,00
		Salida	9/03/15		8,20	20,4	10,90	21,50	2,45	10	48,90	46,00	2,90	1,89	0,00
	RA002	Entrada	16/03/15	LL	6,43	18,1	16,70	32,30	0,19	5	15,89	10,83	5,06	0,93	0,00
		Salida	16/03/15		7,29	18,9	34,80	66,30	7,86	15	45,65	32,10	13,55	2,48	0,00
	RA003	Entrada	23/03/15	LL	6,54	19,7	21,90	45,00	0,24	5	12,37	10,60	1,77	0,93	0,00
		Salida	23/03/15		7,73	20,1	84,90	160,20	2,00	10	35,33	30,50	4,83	2,33	0,00
2 B	RB001	Entrada	9/03/15	T	7,40	20,6	8,70	18,07	1,25	5	11,45	10,00	1,45	0,93	0,00
		Salida	9/03/15		8,00	21,3	13,20	25,80	3,12	5	37,25	35,00	2,25	1,09	0,00
	RB002	Entrada	16/03/15	LL	7,40	20,6	10,10	19,99	2,35	0	12,37	10,59	1,78	0,93	0,00
		Salida	16/03/15		8,40	20,3	13,60	26,60	8,90	10	49,46	45,93	3,53	2,02	0,00
	RB003	Entrada	23/03/15	LL	6,38	19,0	21,10	40,60	2,67	5	14,13	8,83	5,30	0,46	0,00



		Salida	23/03/15		7,25	19,0	65,10	123,00	9,40	20	42,39	31,79	10,60	2,32	0,00
3 C	RC001	Entrada	9/03/15	T	6,73	19,0	10,80	21,40	3,12	20	15,89	10,59	5,30	0,93	0,00
		Salida	9/03/15		7,05	19,0	13,10	25,70	11,50	30	28,26	21,19	7,07	1,24	0,00
	RC002	Entrada	16/03/15	LL	7,90	20,6	9,50	18,83	4,99	20	17,67	12,36	5,31	0,78	0,00
		Salida	16/03/15		8,40	19,8	12,90	25,30	20,10	30	74,19	62,45	11,74	2,17	0,00
	RC003	Entrada	23/03/15	LL	8,00	20,8	19,60	37,90	4,19	20	18,90	13,20	5,70	0,78	0,00
		Salida	23/03/15		8,50	20,8	30,20	57,80	19,30	35	49,65	32,98	16,67	1,67	0,00
4 D	RD001	Entrada	9/03/15	T	7,20	20,3	12,50	24,50	3,38	5	11,24	10,30	0,94	0,78	0,00
		Salida	9/03/15		8,40	20,2	14,30	27,90	3,45	5	53,21	49,78	3,43	2,02	0,00
	RD002	Entrada	16/03/15	LL	7,20	20,6	18,56	38,90	5,91	10	14,13	12,36	1,77	1,24	0,00
		Salida	16/03/15		8,50	20,6	125,67	198,60	6,76	20	95,00	81,36	13,64	4,40	0,00
	RD003	Entrada	23/03/15	LL	5,73	19,1	22,90	44,10	1,10	5	14,13	10,60	3,53	0,93	0,00
		Salida	23/03/15		7,59	19,1	124,50	234,00	1,26	10	97,67	82,34	15,33	4,04	0,00
5 E	RE001	Entrada	9/03/15	T	6,94	18,9	12,80	25,70	2,49	20	15,89	13,40	2,49	0,78	0,00
		Salida	9/03/15		7,60	18,9	18,00	37,40	3,56	23	22,96	20,00	2,96	1,24	0,00
	RE002	Entrada	16/03/15	LL	8,00	20,3	21,80	41,90	4,53	15	17,67	16,30	1,37	0,62	0,00
		Salida	16/03/15		9,20	19,9	34,10	76,98	8,56	20	40,40	37,10	3,30	1,55	0,00
	RE003	Entrada	23/03/15	LL	8,00	20,0	25,68	52,25	4,30	20	17,13	16,34	0,79	0,78	0,00
		Salida	23/03/15		8,90	20,1	43,27	87,69	7,27	25	34,15	31,00	3,15	2,64	0,00



6 F	RF001	Entrada	9/03/15	T	6,89	19,7	13,20	26,10	1,04	10	13,66	12,36	1,30	0,93	0,00
		Salida	9/03/15		7,25	19,6	17,80	35,70	1,30	10	24,50	22,34	2,16	1,40	0,00
	RF002	Entrada	16/03/15	LL	8,00	20,3	25,60	42,80	3,28	20	17,67	15,65	2,02	0,78	0,00
		Salida	16/03/15		9,90	19,9	37,89	63,50	5,46	25	42,39	37,56	4,83	1,55	0,00
	RF003	Entrada	23/03/15	LL	7,80	20,3	22,20	50,89	6,88	25	15,90	14,13	1,77	0,78	0,00
		Salida	23/03/15		8,60	20,3	33,30	78,45	10,26	30	33,79	30,03	3,76	1,24	0,00
7 G	RG001	Entrada	9/03/15	T	6,39	19,5	20,70	39,90	0,65	5	10,59	8,83	1,76	0,62	0,00
		Salida	9/03/15		7,48	19,5	107,50	202,00	2,71	10	45,93	40,63	5,30	1,52	0,00
	RG002	Entrada	16/03/15	LL	5,97	19,4	25,30	48,50	1,45	5	17,66	5,30	1,76	0,93	0,00
		Salida	16/03/15		8,15	19,4	163,00	305,00	6,85	10	72,42	40,63	31,79	2,27	0,00
	RG003	Entrada	23/03/15	LL	6,46	20,3	23,00	45,40	1,85	5	10,59	8,83	1,76	0,93	0,00
		Salida	23/03/15		7,86	20,1	145,80	256,00	9,86	10	54,76	47,69	7,07	2,88	0,00
8 H	RH001	Entrada	9/03/15	T	7,16	19,2	25,70	55,40	5,64	35	22,96	18,13	4,83	0,93	0,00
		Salida	9/03/15		7,21	19,2	29,70	69,50	6,10	35	24,73	19,23	5,50	1,08	0,00
	RH002	Entrada	16/03/15	LL	8,20	20,2	33,30	25,90	7,40	35	25,89	18,37	7,52	1,93	0,00
		Salida	16/03/15		9,00	20,3	45,67	36,20	9,43	40	50,03	36,50	13,53	3,30	0,00
	RH003	Entrada	23/03/15	LL	7,39	19,9	28,90	49,50	7,14	25	29,43	25,43	4,00	2,09	0,00
		Salida	23/03/15		7,83	19,9	38,90	64,40	9,90	30	45,93	36,39	9,54	4,60	0,00
9 I	RI001	Entrada	9/03/15	T	6,75	19,3	16,50	28,70	15,50	25	4,36	3,26	1,10	0,47	0,00



		Salida	9/03/15		7,24	19,3	50,60	66,51	25,60	35	6,75	5,57	1,18	1,24	0,00
	RI002	Entrada	16/03/15	LL	6,87	19,9	15,70	33,60	20,50	40	8,83	8,83	0,00	0,62	0,00
		Salida	16/03/15		7,73	20,0	52,00	101,64	34,80	50	35,09	31,79	3,30	2,10	0,00
	RI003	Entrada	23/03/15	LL	6,69	19,3	17,40	33,80	18,98	30	12,37	8,83	3,53	0,62	0,00
		Salida	23/03/15		7,91	19,3	58,10	109,80	33,70	50	40,63	33,57	7,07	1,71	0,00

LL = Lluvioso

T = Templado



Tabla 24. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	pH	T °C	STD mg/L	Conductividad μs/cm	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Dureza Total mg/L CaCO ₃	Dureza Ca ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Dureza Mg ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Alc. Total mmol/L	Alc. Comp. mmol/L
10 J	CJ001	Entrada	10/03/15	LI	7,38	19,4	89,70	187,50	3,56	30	65,36	49,40	15,97	2,33	0,00
		Salida	10/03/15		7,98	19,4	119,10	219,00	12,20	50	77,66	60,00	17,67	3,57	0,00
	CJ002	Entrada	17/03/15	T	7,47	17,9	47,60	153,50	1,27	10	50,66	25,17	25,50	3,26	0,00
		Salida	17/03/15		7,80	17,6	57,00	169,00	3,01	15	55,96	29,46	26,50	3,57	0,00
	CJ003	Entrada	24/03/15	LI	7,16	18,1	88,30	184,90	3,99	25	67,13	52,92	14,21	2,92	0,00
		Salida	24/03/15		7,86	17,7	117,10	220,00	13,80	50	81,26	65,13	16,13	4,18	0,00
11 K	CK001	Entrada	10/03/15	LI	7,33	19,1	18,00	34,90	2,95	30	18,83	13,07	5,77	0,62	0,00
		Salida	10/03/15		7,92	19,1	102,70	200,00	13,80	50	74,20	63,36	10,84	2,79	0,00
	CK002	Entrada	17/03/15	T	7,12	17,3	8,10	15,00	1,09	15	14,66	13,60	1,06	0,52	0,00
		Salida	17/03/15		7,51	17,2	25,20	60,40	3,10	20	40,60	39,15	1,44	1,17	0,00
	CK003	Entrada	24/03/15	LI	7,30	17,8	18,20	35,10	2,05	35	17,37	13,83	3,53	0,62	0,00
		Salida	24/03/15		7,91	17,9	82,10	184,80	11,10	50	65,23	57,17	8,07	2,36	0,00



12 L	CL001	Entrada	10/03/15	LI	7,24	17,5	30,90	109,00	9,82	35	21,20	14,60	6,60	0,93	0,00
		Salida	10/03/15		8,39	17,3	240,00	156,30	59,70	50	81,26	68,90	12,37	2,55	0,00
	CL002	Entrada	17/03/15	T	7,10	18,0	19,50	59,00	2,11	25	10,83	8,07	2,77	1,09	0,00
		Salida	17/03/15		7,71	17,7	81,50	80,20	9,07	30	26,26	22,89	3,37	1,95	0,00
	CL003	Entrada	24/03/15	LI	6,36	19,4	30,20	71,40	8,70	30	21,20	15,90	5,30	0,16	0,00
		Salida	24/03/15		7,50	19,9	203,00	108,60	60,28	50	93,63	84,80	8,83	0,53	0,00
13 M	CM001	Entrada	10/03/1	LI	7,13	17,9	19,20	46,40	18,60	40	10,60	7,06	3,54	0,78	0,00
		Salida	10/03/15		8,02	17,8	34,20	93,40	27,28	50	24,73	18,97	5,77	1,40	0,00
	CM002	Entrada	17/03/15	T	7,15	17,8	18,70	37,10	4,36	25	7,67	4,13	3,53	0,62	0,00
		Salida	17/03/15		7,74	17,5	29,30	55,80	5,45	30	9,93	5,90	4,03	0,93	0,00
	CM003	Entrada	24/03/15	LI	7,04	20,1	20,90	40,30	12,10	40	10,80	8,83	1,97	0,49	0,00
		Salida	24/03/15		7,75	19,9	39,80	87,00	19,80	50	28,27	24,73	3,53	1,20	0,00

LL = Lluvioso

T = Templado



Tabla 25. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	pH	T °C	STD mg/L	Conductividad µs/cm	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Dureza Total mg/L CaCO ₃	Dureza Ca ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Dureza Mg ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Alc. Total mmol/L	Alc. Comp. mmol/L
14 N	GN001	Entrada	10/03/15	T	7,89	18,9	25,60	49,20	5,14	10	26,50	19,67	6,83	0,93	0,00
		Salida	10/03/15		7,94	18,9	53,70	98,60	6,26	15	37,10	29,90	7,20	1,20	0,00
	GN002	Entrada	17/03/15	T	7,58	19,6	24,00	46,40	4,43	10	24,73	21,20	3,53	0,78	0,00
		Salida	17/03/15		7,62	19,4	54,10	101,60	5,70	15	32,03	28,27	3,76	1,02	0,00
	GN003	Entrada	24/03/15	LI	7,43	20,3	37,90	94,70	10,50	30	33,57	26,50	7,07	1,40	0,00
		Salida	24/03/15		7,67	20,5	98,90	253,40	31,10	50	51,57	43,78	7,78	1,85	0,00
15 O	GO001	Entrada	10/03/15	T	7,51	20,0	29,12	113,40	38,10	25	33,57	30,03	3,53	1,71	0,00
		Salida	10/03/15		7,94	19,8	35,00	122,80	67,00	30	41,87	37,80	4,07	1,86	0,00
	GO002	Entrada	17/03/15	T	7,39	19,9	39,00	149,70	39,80	25	30,80	26,83	3,97	1,40	0,00
		Salida	17/03/15		7,79	20,6	46,34	169,80	75,00	30	41,41	37,13	4,29	1,62	0,00
	GO003	Entrada	24/03/15	LI	7,87	20,1	56,60	162,00	58,60	35	71,86	67,20	4,67	2,33	0,00
		Salida	24/03/15		8,43	20,2	84,80	228,00	124,00	50	113,19	106,16	7,03	2,88	0,00

LL = Lluvioso

T = Templado



Tabla 26. Resultados del análisis físico – químico de los filtros de bioarena de la comunidad de Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	pH	T °C	STD mg/L	Conductividad μs/cm	Turbiedad NTU	Color Pt-Co	Dureza Total mg/L CaCO ₃	Dureza Ca ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Dureza Mg ⁺⁺ mg/L CaCO ₃	Alc. Total mmol/L	Alc. Comp. mmol/L
16 P	YP001	Entrada	11/03/15	T	7,30	19,5	28,00	53,50	46,30	30	18,90	12,37	6,53	1,09	0,00
		Salida	11/03/15		8,85	19,4	61,10	114,20	52,10	50	33,17	26,44	6,73	1,86	0,16
	YP002	Entrada	18/03/15	T	7,29	21,0	29,00	55,40	35,70	30	17,67	12,37	5,30	1,09	0,00
		Salida	18/03/15		8,64	20,5	58,70	111,10	41,20	50	30,33	24,73	5,60	1,55	0,16
	YP003	Entrada	25/03/15	T	7,32	20,1	29,10	54,20	40,50	30	19,43	12,37	7,07	1,24	0,00
		Salida	25/03/14		8,75	20,2	65,00	122,80	47,10	50	35,83	28,27	7,57	1,86	0,16
17 Q	YQ001	Entrada	11/03/15	T	7,21	19,5	27,80	53,10	60,20	5	20,30	14,13	6,17	1,09	0,00
		Salida	11/03/15		8,98	19,5	59,60	130,80	89,70	10	49,66	42,40	7,27	1,71	0,47
	YQ002	Entrada	18/03/15	T	7,35	20,3	29,70	56,80	18,70	5	16,87	12,37	4,50	1,09	0,00
		Salida	18/03/15		8,97	20,1	67,40	127,30	29,60	10	40,83	35,33	5,50	1,71	0,31
	YQ003	Entrada	25/03/15	T	7,28	20,2	28,90	55,30	31,30	5	18,63	12,37	6,27	1,24	0,00
		Salida	25/03/15		8,96	20,3	67,90	135,70	52,10	10	44,37	37,10	7,27	1,86	0,47

T = Templado

Anexo I: Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena.

Tabla 27. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Rambrán, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	Coliformes Totales UFC/100 mL	Coliformes Fecales UFC/100 mL
1 A	RA001	Entrada	9/03/15	T	$4,30 \times 10^2$	$3,90 \times 10^2$
		Salida	9/03/15		$1,00 \times 10^0$	0
	RA002	Entrada	16/03/15	LL	$6,40 \times 10^2$	$3,30 \times 10^2$
		Salida	16/03/15		$2,00 \times 10^0$	0
	RA003	Entrada	23/03/15	LL	$7,80 \times 10^2$	$4,60 \times 10^2$
		Salida	23/03/15		$2,00 \times 10^1$	0
2 B	RB001	Entrada	9/03/15	T	$5,00 \times 10^2$	$2,50 \times 10^2$
		Salida	9/03/15		0	0
	RB002	Entrada	16/03/15	LL	$5,10 \times 10^2$	$2,00 \times 10^2$
		Salida	16/03/15		$2,50 \times 10^2$	$6,00 \times 10^1$
	RB003	Entrada	23/03/15	LL	$8,00 \times 10^2$	$1,60 \times 10^2$
		Salida	23/03/15		$2,00 \times 10^2$	$6,00 \times 10^1$
3 C	RC001	Entrada	9/03/15	T	$7,20 \times 10^1$	$2,50 \times 10^1$
		Salida	9/03/15		$2,70 \times 10^1$	$3,00 \times 10^0$
	RC002	Entrada	16/03/15	LL	$3,90 \times 10^2$	$1,90 \times 10^2$
		Salida	16/03/15		$2,10 \times 10^2$	$2,00 \times 10^1$
	RC003	Entrada	23/03/15	LL	$2,30 \times 10^2$	$1,38 \times 10^2$
		Salida	23/03/15		$1,08 \times 10^2$	$2,00 \times 10^1$
4 D	RD001	Entrada	9/03/15	T	$4,20 \times 10^1$	$2,00 \times 10^0$
		Salida	9/03/15		$4,00 \times 10^0$	0
	RD002	Entrada	16/03/15	LL	$8,10 \times 10^1$	$1,00 \times 10^0$
		Salida	16/03/15		$3,50 \times 10^1$	0
	RD003	Entrada	23/03/15	LL	$1,10 \times 10^2$	$1,00 \times 10^1$
		Salida	23/03/15		$1,00 \times 10^1$	0



5 E	RE001	Entrada	9/03/15	T	$9,80 \times 10^1$	$7,20 \times 10^1$
		Salida	9/03/15		$3,00 \times 10^0$	$2,00 \times 10^0$
	RE002	Entrada	16/03/15	LL	$5,30 \times 10^2$	$1,50 \times 10^2$
		Salida	16/03/15		$3,80 \times 10^2$	$2,00 \times 10^1$
	RE003	Entrada	23/03/15	LL	$6,40 \times 10^2$	$3,10 \times 10^2$
		Salida	23/03/15		$3,70 \times 10^2$	$8,00 \times 10^1$
6 F	RF001	Entrada	9/03/15	T	$1,30 \times 10^2$	$6,00 \times 10^1$
		Salida	9/03/15		$1,20 \times 10^1$	0
	RF002	Entrada	16/03/15	LL	$6,40 \times 10^2$	$2,30 \times 10^2$
		Salida	16/03/15		$2,00 \times 10^2$	0
	RF003	Entrada	23/03/15	LL	$4,00 \times 10^2$	$1,20 \times 10^2$
		Salida	23/03/15		$9,50 \times 10^1$	$2,00 \times 10^0$
7 G	RG001	Entrada	9/03/15	T	$2,00 \times 10^2$	0
		Salida	9/03/15		$2,30 \times 10^1$	0
	RG002	Entrada	16/03/15	LL	$2,43 \times 10^2$	0
		Salida	16/03/15		$4,30 \times 10^1$	0
	RG003	Entrada	23/03/15	LL	$2,70 \times 10^2$	0
		Salida	23/03/15		$5,00 \times 10^1$	0
8 H	RH001	Entrada	9/03/15	T	$4,60 \times 10^2$	$5,00 \times 10^1$
		Salida	9/03/15		$2,20 \times 10^2$	$1,30 \times 10^1$
	RH002	Entrada	16/03/15	LL	$5,60 \times 10^2$	$1,40 \times 10^2$
		Salida	16/03/15		$3,20 \times 10^2$	$5,00 \times 10^1$
	RH003	Entrada	23/03/15	LL	$1,14 \times 10^3$	$5,00 \times 10^1$
		Salida	23/03/15		$6,70 \times 10^2$	$2,50 \times 10^1$
9 I	RI001	Entrada	9/03/15	T	$1,40 \times 10^2$	$2,00 \times 10^1$
		Salida	9/03/15		$1,00 \times 10^1$	0
	RI002	Entrada	16/03/15	LL	$1,40 \times 10^3$	$2,00 \times 10^1$
		Salida	16/03/15		$8,80 \times 10^2$	$0,00 \times 10^0$
	RI003	Entrada	23/03/15	LL	$1,13 \times 10^3$	$1,00 \times 10^2$
		Salida	23/03/15		$6,80 \times 10^2$	$0,00 \times 10^0$

LL = Lluvioso

T = Templado

Tabla 28. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Campanacucho, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
					UFC/100 mL	UFC/100 mL
10 J	CJ001	Entrada	10/03/15	LI	$5,86 \times 10^3$	$4,00 \times 10^2$
		Salida	10/03/15		$2,13 \times 10^3$	$1,00 \times 10^1$
	CJ002	Entrada	17/03/15	T	$8,10 \times 10^2$	$8,50 \times 10^1$
		Salida	17/03/15		$1,90 \times 10^2$	0
	CJ003	Entrada	24/03/15	LI	$3,56 \times 10^3$	$3,50 \times 10^3$
		Salida	24/03/15		$1,20 \times 10^3$	$5,00 \times 10^1$
11 K	CK001	Entrada	10/03/15	LI	$1,06 \times 10^2$	$3,00 \times 10^0$
		Salida	10/03/15		$4,00 \times 10^1$	0
	CK002	Entrada	17/03/15	T	$5,00 \times 10^1$	$1,00 \times 10^1$
		Salida	17/03/15		0	0
	CK003	Entrada	24/03/15	LI	$2,20 \times 10^2$	$2,00 \times 10^1$
		Salida	24/03/15		$9,50 \times 10^1$	0
12 L	CL001	Entrada	10/03/15	LI	$8,00 \times 10^3$	$5,50 \times 10^3$
		Salida	10/03/15		$2,80 \times 10^3$	$2,50 \times 10^2$
	CL002	Entrada	17/03/15	T	$5,56 \times 10^3$	$3,00 \times 10^3$
		Salida	17/03/15		$5,60 \times 10^2$	$9,00 \times 10^1$
	CL003	Entrada	24/03/15	LI	$3,42 \times 10^3$	$2,00 \times 10^2$
		Salida	24/03/15		$6,80 \times 10^2$	$4,00 \times 10^1$
13 M	CM001	Entrada	10/03/15	LI	$8,70 \times 10^3$	$9,30 \times 10^2$
		Salida	10/03/15		$1,38 \times 10^3$	$2,00 \times 10^2$
	CM002	Entrada	17/03/15	T	$4,00 \times 10^3$	$4,00 \times 10^1$
		Salida	17/03/15		$3,70 \times 10^2$	$8,00 \times 10^0$
	CM003	Entrada	24/03/15	LI	$5,20 \times 10^3$	$3,60 \times 10^2$
		Salida	24/03/15		$6,80 \times 10^2$	$9,00 \times 10^1$

LL = Lluvioso

T = Templado



Tabla 29. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Gañarín, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
					UFC/100 mL	UFC/100 mL
14 N	YP001	Entrada	10/03/15	T	$3,30 \times 10^3$	$1,00 \times 10^2$
		Salida	10/03/15		$2,10 \times 10^2$	0
	YP002	Entrada	17/03/15	T	$2,44 \times 10^3$	$3,00 \times 10^1$
		Salida	17/03/15		$1,80 \times 10^2$	0
	YP003	Entrada	24/03/15	LI	$7,00 \times 10^3$	$4,00 \times 10^2$
		Salida	24/03/15		$7,20 \times 10^2$	$2,00 \times 10^1$
15 O	YQ001	Entrada	10/03/15	T	$2,10 \times 10^3$	$1,00 \times 10^3$
		Salida	10/03/15		$6,00 \times 10^2$	$1,00 \times 10^2$
	YP002	Entrada	17/03/15	T	$1,45 \times 10^3$	$1,35 \times 10^2$
		Salida	17/03/15		$4,50 \times 10^2$	0
	YP003	Entrada	24/03/15	LI	$3,50 \times 10^3$	$7,10 \times 10^3$
		Salida	24/03/15		$1,42 \times 10^3$	$9,00 \times 10^2$

LL = Lluvioso

T = Templado

Tabla 30. Resultados del análisis microbiológico de los filtros de bioarena de la comunidad de Yaritzagua, parroquia El Progreso, Nabón.

Filtro	N°	Agua	Fecha y hora de muestreo	Clima	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
					UFC/100 mL	UFC/100 mL
16 P	YP001	Entrada	11/03/15	T	$9,50 \times 10^3$	$6,00 \times 10^2$
		Salida	11/03/15		$4,00 \times 10^2$	0
	YP002	Entrada	18/03/15	T	$2,45 \times 10^3$	$7,00 \times 10^2$
		Salida	18/03/15		$2,10 \times 10^2$	0
	YP003	Entrada	25/03/15	T	$7,30 \times 10^3$	$4,50 \times 10^2$
		Salida	25/03/14		$3,50 \times 10^2$	0
17 Q	YQ001	Entrada	11/03/15	T	$5,90 \times 10^3$	$2,00 \times 10^2$
		Salida	11/03/15		$1,00 \times 10^3$	0
	YP002	Entrada	18/03/15	T	$3,50 \times 10^3$	$1,00 \times 10^2$
		Salida	18/03/15		$5,60 \times 10^2$	0
	YP003	Entrada	25/03/15	T	$5,50 \times 10^3$	$1,50 \times 10^2$
		Salida	25/03/15		$9,50 \times 10^2$	0

T = Templado